

N° D'ORDRE

88.

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

POUR OBTENIR

LE TITRE DE DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ

PAR B. FESSENKOFF.

1^{re} THÈSE. — LA LUMIÈRE ZODIACALE.

2^e THÈSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le mai 1914 devant la Commission d'Examen.

MM. P. APPELL, *Président.*
H. ANDOYER, } *Examineurs.*
PUISEUX, }



PARIS,

GAUTHIER-VILLARS ET C^{ie}, IMPRIMEURS-LIBRAIRES

DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,

Quai des Grands-Augustins, 55.

1914

UNIVERSITÉ DE PARIS.

FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS.

MM.

Doyen	P. APPELL, professeur.	Mécanique analytique et Mécanique céleste.
Doyen honoraire	G. DARBOUX.....	Géométrie supérieure.
Professeurs honoraires ...	{ CH. WOLF. RIBAN.	
	LIPPMANN.....	Physique.
	BOUTY.....	Physique.
	BOUSSINESQ.....	Physique mathématique et Calcul des probabilités.
	PICARD.....	Analyse supérieure et Algèbre supérieure.
	YVES DELAGE.....	Zoologie, Anatomie, Physiologie compar.
	GASTON BONNIER.....	Botanique.
	DASTRE.....	Physiologie.
	KOENIGS.....	Mécanique physique et expérimentale.
	VELAIN.....	Géographie physique.
	GOURSAT.....	Calcul différentiel et Calcul intégral.
	HALLER.....	Chimie organique.
	JOANNIS.....	Chimie (Enseignement P. C. N.).
	P. JANET.....	Physique (Enseignement P. C. N.).
	WALLERANT.....	Minéralogie.
	ANDOYER.....	Astronomie.
	PAINLEVÉ.....	Mécanique rationnelle.
Professeurs	HAUG.....	Géologie.
	HOUSSAY.....	Zoologie.
	H. LE CHATELIER.....	Chimie.
	GABRIEL BERTRAND.....	Chimie biologique.
	M ^{me} P. CURIE.....	Physique générale.
	CAULLERY.....	Zoologie (Évolution des êtres organisés).
	C. CHABRIÉ.....	Chimie appliquée.
	G. URBAIN.....	Chimie.
	EMILE BOREL.....	Théorie des fonctions.
	MARCHIS.....	Aviation.
	JEAN PERRIN.....	Chimie physique.
	G. PRUVOT.....	Zoologie, Anatomie, Physiologie compar.
	MATRUCHOT.....	Botanique.
	ABRAHAM.....	Physique.
	CARTAN.....	Calcul différentiel et Calcul intégral.
	CL. GUICHARD.....	Mathématiques générales.
	MOLLIARD.....	Physiologie végétale.
	N.....	Application de l'Analyse à la Géométrie.
	N.....	Histologie.
	PUISEUX.....	Mécanique et Astronomie.
	LEDUC.....	Physique.
	MICHEL.....	Minéralogie.
	HÉROUARD.....	Zoologie.
Professeurs adjoints	LÉON BERTRAND.....	Géologie.
	RÉMY PERRIER.....	Zoologie (Enseignement P. C. N.).
	COTTON.....	Physique.
	LESPIEAU.....	Chimie.
	GENTIL.....	Pétrographie.
	SAGNAC.....	Physique (Enseignement P. C. N.).
	PEREZ.....	Zoologie (Évolution des êtres organisés).
Secrétaire	D. TOMBECK.	

A MA MÈRE.

ABRÉVIATIONS.

1. *B. S. A. F.* (*Bulletin de la Société astronomique de France*).
 2. *C. T.* (*Ciel et Terre*, Bulletin de la Société belge d'Astronomie).
 3. *B. A.* (*Bulletin astronomique*).
 4. *C. R.* (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*).
 5. *N.* (*Nature*).
 6. *A. N.* (*Astronomische Nachrichten*).
 7. *H. E.* (*Himmel und Erde*).
 8. *S.* (*Sirius*).
 9. *O.* (*The Observatory*).
 10. *A. J.* (*The Astronomical Journal*).
 11. *Aph. J.* (*The Astrophysical Journal*).
 12. *M. N.* (*Monthly Notices*).
 13. *P. A.* (*Popular Astronomy*).
 14. *J. B. A. A.* (*The Journal of the British Astronomical Association*).
 15. *A. A. O. H. C.* (*Annals of the Astronomical Observatory of Harvard College*).
 16. *P. S. A. P.* (*Publications of the Astronomical Society of the Pacific*).
 17. *P. W. H. O.* (*Publications of West Hendon House Observatory, Sunderland*).
-

TABLE DES MATIÈRES.

I.

	Pages.
Aperçu historique.....	I
Généralités sur la lumière zodiacale.....	3
Intensité de la lumière zodiacale.....	16
Position de la lumière zodiacale.....	32
Coloration de la lumière zodiacale.....	38
Recherches polariscopiques sur la lumière zodiacale.....	40
Recherches spectroscopiques sur la lumière zodiacale.....	42
Recherches thermiques sur la lumière zodiacale.....	48
Épreuves photographiques sur la lumière zodiacale.....	49
Contre-lueur ou « Gegenschein ».....	51
Intensité du ciel nocturne.....	57

II.

Introduction.....	60
Astrophotomètre pour mesurer l'intensité des surfaces.....	61
Examen du photomètre.....	67
Observations photométriques de la lumière zodiacale.....	71
Réduction des observations.....	85
Résultats définitifs.....	95
Méthodes de réduction des observations ordinaires.....	103
Détermination de la position de la lumière zodiacale.....	110

III.

Hypothèses terrestres sur la nature de la lumière zodiacale.....	137
Hypothèses cosmiques sur la nature de la lumière zodiacale.....	145
Distribution de la densité dans la lumière zodiacale.....	155
Forme de la lumière zodiacale dans l'espace.....	162
Masse de la lumière zodiacale.....	166
Hypothèses sur la nature du « Gegenschein ».....	171



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41554605_0052

PREMIÈRE THÈSE.

LA LUMIÈRE ZODIACALE.

I

APERÇU HISTORIQUE.

On admet, en général, que les premières observations scientifiques sur la lumière zodiacale ont été effectuées par J.-D. Cassini en 1683 environ. Il doit paraître étrange que ce phénomène qui atteint souvent, et surtout sur les tropiques, une intensité considérable, non seulement n'ait pas attiré plus tôt l'attention des observateurs, mais leur soit resté, au contraire, complètement inconnu. Cela a même donné lieu de penser qu'avant la publication de 1683 la lumière zodiacale n'avait pas existé ou qu'elle avait été extrêmement faible. Cassini était le premier à partager cette opinion.

« J'observais ⁽¹⁾, écrit-il, en février et en mars de cette année (1665), une comète très faible où devait se trouver cette lumière; cependant mes journaux n'en font aucune mention. »

Cependant, si une telle opinion était pardonnable au temps de Cassini, alors que ce mystérieux phénomène de la lumière zodiacale venait d'être découvert, maintenant, après 250 années d'observations qui ont montré la stabilité de sa nature, il ne reste qu'à poser la question si cette apparition était connue avant Cassini ou non.

Les recherches qui ont été poursuivies dans les archives du moyen âge et de l'antiquité ont donné une série d'indications d'après lesquelles il est facile de constater que la lumière zodiacale était bien connue même des anciens.

(1) ARAGO, *Astronomie populaire*, vol. II, p. 183.

Sans doute, ces indications sont un peu vagues et indéterminées comme la lumière zodiacale elle-même; sans doute, dans certains cas, elles ne concernent peut-être que de simples phénomènes atmosphériques, mais dans l'ensemble elles sont si nombreuses et si concordantes qu'elles méritent la plus sérieuse attention.

D'après Gruson et Brugsch ⁽¹⁾ les Égyptiens avaient connu et adoré dans tous les temps la lumière zodiacale. Ils l'avaient dessinée en forme de triangle, tantôt tout droit, tantôt incliné.

Les anciens Grecs, eux aussi, avaient parfois tourné leur attention vers la lumière zodiacale longtemps avant l'ère chrétienne. Diodorus Siculus raconte, dans sa description de l'Arabie, que le Soleil lui paraissait sortant de l'horizon comme un charbon ardent qui jette des étincelles éclatantes; qu'il ne se montrait pas en forme de disque, mais sous l'aspect d'une colonne dont le sommet était en partie coupé. Mais Diodorus Siculus n'avait pas vu dans cet aspect du Soleil un phénomène permanent. Il avait cru que cette lueur prédisait la fin de l'hégémonie des Lacédémoniens ⁽²⁾.

Dans le Volume XV (*Bibliotheca*, p. 50), nous pouvons trouver cette expression :

« Ωφθη μὲν γὰρ κατὰ τὸν ὀνρανὸν ἐπὶ πολλὰς νύκτας λαμπρὰς μεγάλη καιομένη ἀπὸ τοῦ σχήματος ὀνομασθεῖσα πνρὶνὴ δοκίς, »

c'est-à-dire :

« On vit dans le ciel une grande lumière allumée pendant plusieurs nuits. A cause de sa figure, on l'appela *poutre ardente*. »

A ce qu'il paraît, Aristote l'avait aussi vue, mais il l'avait considérée comme la queue d'une comète dont la tête était cachée sous l'horizon. D'une façon plus complète elle avait été décrite par l'historien Nicéphore vers 410 (*Historia ecclesiastica*, 1553, lib. XIII).

Nicéphore raconte qu'après la prise de Rome par Alaric une éclipse totale du Soleil eut lieu, pendant laquelle on avait vu une lumière en forme de cône. Il appelle *ignorants* ceux qui avaient imaginé que c'était peut-être la queue d'une comète ⁽³⁾.

D'après Nicéphore, la lumière zodiacale fut observée cette année-là à partir

⁽¹⁾ LEFÉBURE, *La lumière zodiacale* (C. T., 1894, p. 75).

⁽²⁾ LYNN, *Early observations of the zodiacal light* (O., vol. XIII, p. 274).

⁽³⁾ ARAGO, *Astronomie populaire*, vol. II, p. 183.

du milieu de l'été jusqu'à la fin de l'automne. Les Orientaux la connaissaient aussi et l'appelaient « la fausse aurore polaire ». Ce nom se rencontre dans le *Coran* (Chap. II, 1-3).

Selon leur opinion, c'est la lumière qui s'élève avant l'aube. Elle s'élève à une hauteur considérable formant un contraste avec l'aurore boréale qui, comme on sait, s'étend d'ordinaire près de l'horizon.

La conception de la lumière zodiacale existait déjà chez les Aztèques. Les anciens documents mexicains en font mention vers l'année 1509 (A. HUMBOLDT, *Vues des cordillères et monuments des peuples de l'Amérique*, 1816, p. 301).

Les Perses parlaient d'elle à Chardin dans ses voyages (¹). Mais la première description détaillée de la lumière zodiacale fut donnée par Childrey, chapelain de Lord Henry Somerest, notamment dans son *Natural History of England* (1659) et dans un petit Livre *Britannica Baconica* (1661) (²) c'est-à-dire 24 ans avant sa découverte par Cassini. Dans ce dernier Livre, Childrey écrit :

« In February and for a little time before, and a little after that month when the Twilight hath almost deserted the horizon you shall see a plainly discernable way of the Twilight striking up towards the Pleiades or seven stars, and seeming almost to touch them. And I believe it hath been and will be constantly visible at that time of the year. But what the cause of it in nature should be I cannot yet imagine but leave it to further inquiry (³). »

J'ajouterai ensuite qu'elle avait été observée à Nuremberg depuis 1678.

Tous ces témoignages montrent avec une grande probabilité que la lumière zodiacale était déjà bien connue dans l'antiquité, surtout dans les régions tropicales, où elle peut être observée sans aucune difficulté chaque soir clair.

GÉNÉRALITÉS SUR LA LUMIÈRE ZODIACALE.

Quand le Soleil s'abaisse sous l'horizon et quand le crépuscule commence à se propager peu à peu aux environs, dans le ciel assombri, les étoiles paraissent l'une après l'autre. L'occident devient de plus en plus sombre. Enfin, quand à l'endroit du coucher du Soleil il ne reste qu'une faible lumière crépusculaire,

(¹) I.-G. HOUZEAU, *La lumière zodiacale* (C. T., vol. I, 1880, p. 457).

(²) HENKEL, *La lumière zodiacale* (Scientia, vol. XII, 1912).

(³) LYNN, *Early observations* (O., vol. XIII, p. 274).

l'observateur peut distinguer facilement, pendant quelques mois de l'année, une grande bande de lumière qui s'élève un peu obliquement à partir de l'horizon et qui se dissipe peu à peu sur le fond du ciel. C'est la lumière zodiacale; ses contours sont très indéterminés et indistincts. Quoiqu'on puisse comparer l'intensité de ce phénomène avec celle de la Voie lactée sous nos latitudes, la lumière zodiacale se trouve toujours près de l'horizon et, par conséquent, ne peut être visible que dans des conditions atmosphériques favorables. Néanmoins, M. Flammarion raconte qu'il a observé la lumière zodiacale même à Paris, en 1871, quand la ville était privée d'éclairage au gaz ⁽¹⁾. Cette bande de lumière est large près de l'horizon et devient plus étroite vers le haut. Mais il est très probable que la lumière de la courbe crépusculaire se joignant à la lumière zodiacale lui donne en partie cet aspect. Sous nos latitudes, où le crépuscule dure assez longtemps, la base de la lumière zodiacale paraît beaucoup plus large que sous les tropiques, où la durée du crépuscule est assez courte. Il suffit de comparer les dessins simultanés de Heis et de Jones pour s'assurer quelle grande influence sur la forme de la lumière zodiacale peut avoir la lumière du crépuscule, étrangère à ce phénomène. A cause des changements dans les conditions atmosphériques ou, peut-être, à cause des changements dans la nature même de ce phénomène, la largeur de la base de la lumière zodiacale près de l'horizon varie de 8° à 30° et encore plus. Étant toujours situé près de l'écliptique, son sommet se trouve à une distance du Soleil qui varie aussi assez considérablement, savoir de 50° à 90°. Cassini et Mairan avaient eu l'occasion d'observer la lumière zodiacale à la distance de 100° du Soleil ⁽²⁾ et même à une plus grande distance. Ensuite les observations faites à Greenwich, en 1892, donnent parfois pour la distance du sommet de cette lueur 105° ⁽³⁾, et Jones, qui avait observé ce phénomène sous les tropiques dans les conditions les plus favorables, donne pour la distance du Soleil des dernières traces de la lumière zodiacale même 160° ⁽⁴⁾. L'intensité de la lumière zodiacale va en décroissant de la base au sommet. Quelques observateurs dessinent ce phénomène par un seul contour (par exemple, Heis) en notant les dernières traces de la lumière. Les autres, comme Jones, distinguent quelques parties de cette lumière « stronger light » (la lumière centrale), c'est la lumière la plus vive; « diffuse light » (la lumière diffuse), la lueur plus faible qui entoure la première de tous les côtés. Parfois Jones distingue encore « effulgent light », la partie la plus basse et la plus

(1) HENKEL, *La lumière zodiacale* (*Scientia*, vol. XII).

(2) ARAGO, *Astronomie populaire*, vol. II, p. 183.

(3) HENKEL, *La lumière zodiacale* (*Scientia*, 1912, vol. XII).

(4) SERPIERI, *La luce zodiacale*, p. 44.

épaisse de la lumière zodiacale, qui se trouve près de sa base et ensuite la partie la plus faible et diffuse « dim or paled sky » (la lumière pâle) ⁽¹⁾.

Il ne faut pas penser que cette division est fondée sur la distinction réelle dans le cône de la lumière zodiacale. Toutes les parties de cette lueur passent presque insensiblement et successivement l'une dans l'autre, et cette division peut être adoptée seulement pour la commodité de la description de ce phénomène. A. Searle, au lieu de dessiner les contours de la lumière zodiacale qui n'existent pas, trace « les lignes de même intensité », de sorte que chaque ligne indique l'intensité à la place où elle est tracée. Les observations ont été effectuées suivant cette méthode par le professeur Baily et par Searle, lui-même ⁽²⁾, ensuite par C. Hoffmeister à Sonneberg ⁽³⁾.

La lumière zodiacale, pour parler exactement, n'est jamais observée près de l'horizon même, parce que les couches inférieures de l'atmosphère sont trop peu transparentes pour permettre de semblables observations. Quelque temps après le coucher du Soleil, la lumière zodiacale paraît déjà à une certaine hauteur (près de 10°) au-dessus de l'horizon et, au fur et à mesure de l'avancement des ténèbres, elle croît de plus en plus haut se mouvant sur l'écliptique et couvrant peu à peu les étoiles voisines. Serpieri appelle ces déplacements « les phases de la lumière zodiacale » ⁽⁴⁾.

Quelques heures après le coucher du Soleil, la lumière zodiacale atteint sa hauteur maximum et commence à se coucher lentement en raison du mouvement diurne de la voûte céleste. Alors, quelques heures après minuit, ou même vers minuit, sur le côté oriental du ciel paraît une autre branche de la lumière zodiacale. D'abord faible, cette lumière augmente peu à peu son intensité. Mais au fur et à mesure de l'élévation du Soleil, après les premiers signes de l'aurore, ce cône matinal, toujours augmentant sa clarté, commence à s'approcher du Soleil par de lents mouvements, et ensuite il s'arrête à une distance minimum du Soleil quand l'aurore propagée sur la voûte céleste le dissipe et le dissimule. Ces phases de la lumière zodiacale du matin sont tout à fait semblables aux phases de celles du soir, mais elles se passent dans l'ordre inverse. Pour cette raison, Serpieri distingue les phases de l'élévation qui sont appropriées à la lumière zodiacale de l'Ouest et les phases de l'abaissement appropriées à celle de l'Est.

Il résulte des observations de Jones que la partie la plus brillante de la lumière

(1) SERPIERI, *La luce zodiacale*, p. 4.

(2) SEARLE, *Improved Methods of observing the zodiacal light* (A. N., Nr. 3153, p. 163).

(3) C. HOFFMEISTER, *Beobachtungen des Zodiacallichtes im Februar und März 1910* (A. N., Nr. 4484).

(4) SERPIERI, *La luce zodiacale*, p. 10.

zodiacale, ou « lumière centrale », subit de pareils changements de position dans la plus grande mesure. Les autres parties de la lumière zodiacale qui sont plus faibles, comme par exemple la lumière diffuse, et à plus forte raison la lumière pâle, montrent une stabilité beaucoup plus grande. Jones n'a jamais pu remarquer aucune phase dans la lumière pâle ⁽¹⁾.

Serpieri a déduit des observations de Jones les valeurs suivantes pour les elongations du matin et du soir ⁽²⁾ :

	Heures après le coucher ou avant le lever du Soleil.					
	1 ^h , 0.	1 ^h , 5.	2 ^h , 0.	2 ^h , 5.	3 ^h , 0.	3 ^h , 5.
Lumière centrale (soir).....	64 ^o	77 ^o	87 ^o	96 ^o	99 ^o	100 ^o
» (matin).....	»	94	104	110	108	120
Lumière diffuse (soir).....	90	107	110	116	120	»
» (matin).....	»	128	132	137	133	139

On peut, avant tout, voir par cette petite Table que la lumière zodiacale croît le plus vite dans les heures voisines du coucher du Soleil; au fur et à mesure que l'obscurité augmente, elle se déplace toujours de moins en moins et enfin 2^h,5 ou 3^h,0 après le coucher du Soleil elle s'arrête complètement par rapport aux étoiles; le phénomène a atteint son développement le plus complet.

D'autre part, la même Table permet de constater que la branche matinale de la lumière zodiacale est toujours plus grande que celle du soir. Peut-être faut-il attribuer cette différence à la pureté plus grande de l'atmosphère du matin que celle du soir; peut-être dépend-elle de la nature même du phénomène; toujours est-il que la particularité indiquée se produit avec une remarquable constance.

Enfin nous voyons que les déplacements de la lumière zodiacale le long de l'écliptique dans le sens contraire au mouvement des étoiles atteint dans la même soirée 40° à 60°. La Table citée montre comment cette variation se produit en moyenne. En réalité, sous les latitudes diverses, dans différentes conditions atmosphériques, aux diverses inclinaisons de l'écliptique vers l'horizon, le phénomène se produit naturellement avec des divergences par rapport à cette règle. Serpieri, qui avait étudié les observations faites par Jones pendant deux ans (1854-1855), croit qu'il est très probable que la situation de l'observateur sous 20°-30° de latitude boréale favorise les observations du plus grand nombre des phases; que l'écliptique dirigée plus normalement vers l'horizon montre

(1) SERPIERI, *La luce zodiacale*, p. 19.

(2) SERPIERI, *Ibid.*, p. 40

mieux les phases de la lumière zodiacale ; que pendant les mois de janvier, de septembre et de décembre, on note les plus grandes phases ⁽¹⁾.

J'ai dit plus haut que Jones avait observé parfois l'élongation maximum du sommet de la lumière zodiacale à partir du Soleil atteignant 160°.

On observe les mêmes élongations dans le cône oriental. Cela nous montre que la lumière zodiacale forme un anneau presque complètement fermé qui entoure tout le ciel le long de l'écliptique. Dans les conditions les plus favorables on peut voir, en effet, un anneau complet. Liais, au mois de juillet 1858, a observé cette bande luisante et il a pu la percevoir à partir du crépuscule du soir jusqu'à l'aube ⁽²⁾. Marchand, qui avait observé la lumière zodiacale à l'Observatoire du Pic du Midi dans les conditions excellentes d'une station de montagne, dit que la lumière zodiacale ne consiste pas seulement en cône occidental et en cône oriental qui se montrent à l'horizon après le coucher ou avant le lever du Soleil, mais qu'elle consiste aussi dans une bande lumineuse assez étroite ; cette bande, très diffuse sur ses bords, relie les deux cônes de la lumière zodiacale ⁽³⁾. L'existence de cette bande, qui présente la continuation de la lumière zodiacale ordinaire, était confirmée par les observations qui avaient été faites à l'Observatoire de Harvard College ⁽⁴⁾.

Sous nos latitudes, cette bande échappe ordinairement à l'attention des observateurs de la plaine, car elle est tellement faible qu'il suffit parfois d'une lumière même peu intense, ou simplement de quelques points brillants à l'horizon, pour la rendre entièrement invisible. Pour cette raison, Heis, qui avait observé la lumière zodiacale pendant 29 ans, ne pouvait remarquer cette bande malgré sa vue extraordinaire. Même Jones, sous les tropiques, voyageant en bateau, ne l'avait pas distinguée habituellement. Bayldon ⁽⁵⁾, qui avait observé la lumière zodiacale dans une île de l'océan Pacifique, dit que cette bande est toujours visible traversant le ciel tout entier pendant les nuits favorables et sans clair de Lune, et que son intensité n'est pas moindre que celle des Nuages de Magellan.

Maxwell Hall pense qu'il est toujours possible de la voir sous les latitudes tropicales quand la présence de la Lune n'empêche pas de l'observer ⁽⁶⁾. En ce qui me concerne, j'ai pu la voir facilement traversant le ciel pendant mon séjour

(1) SERPIERI, *La luce zodiacale*, p. 27-32.

(2) LIAIS, *L'espace céleste ou description de l'univers*, p. 181.

(3) MARCHAND, *La lumière zodiacale* (*B. S. A. F.*, 1896, p. 50).

(4) A. SEARLE, *Observations of the zodiacal light* (*A. N.*, 2976, p. 406).

(5) F. BAYLDON, *Notes on the zodiacal light* (*P. A. S. P.*, vol. XII, 1900, p. 13).

(6) HALL, *The San-pillar and the zodiacal light* (*O.*, vol. VI, Nr. 76, p. 252).

dans les Alpes-Maritimes à la hauteur de $1^{\text{km}},5$. En somme, on peut admettre que sa présence est bien démontrée par les observations. Marchand évalue la largeur de cette bande en 14° en moyenne ⁽¹⁾. Bayldon l'avait observée de la largeur de 5° seulement, mais il dit que parfois elle se présente ayant 12° et même 22° de largeur ⁽²⁾. Maxwell Hall, à la Jamaïque, a fait une série de mesures de sa largeur et obtint les résultats suivants :

Distance moyenne du Soleil.	Largeur de la bande.	Distance moyenne du Soleil.	Largeur de la bande.
30°	$41,4$	110°	$20,3$
40°	$38,7$	120°	$17,8$
50°	$36,1$	130°	$15,3$
60°	$33,4$	140°	$13,0$
70°	$30,7$	150°	$10,8$
80°	$28,1$	160°	$8,9$
90°	$25,5$	170°	$7,6$
100°	$22,9$	180°	$7,0$ ⁽³⁾

Les faits cités plus haut prouvent avec certitude que les deux cônes de la lumière zodiacale s'unissent à l'aide d'une bande du côté opposé au Soleil. Mais on peut se poser maintenant une question : Les deux cônes s'unissent-ils près du Soleil ou non ? La lumière zodiacale forme-t-elle un anneau complet dont la partie la plus large entoure le Soleil ?

Quelques personnes ont émis l'opinion que la lumière zodiacale ne peut atteindre le Soleil, mais qu'au contraire elle se tient à une certaine distance de lui. Probablement cette opinion était fondée sur ce fait qu'au moment des éclipses totales du Soleil la lumière zodiacale reste invisible.

Pourtant, Mairan rapporte une ancienne observation suivant laquelle cette lueur a été visible au moment de l'éclipse, mais cette observation est très douteuse. Il est difficile d'envisager l'opinion que nous venons de citer comme une objection sérieuse contre la supposition que la lumière zodiacale s'étend jusqu'au Soleil. Il suffit de rappeler que la couronne solaire et les couches plus basses de l'atmosphère du Soleil, qui sont visibles pendant des éclipses totales, donnent beaucoup plus de lumière que la pleine Lune.

Liais ⁽⁴⁾ a remarqué que, pendant les éclipses totales, la surface de la Lune entourée de tous les côtés par la couronne solaire est beaucoup plus sombre que

(1) *B. S. A. F.*, 1896, p. 50.

(2) *P. A. S. P.*, vol. XII, 1900, p. 13.

(3) *O.*, vol. VI, Nr. 76, p. 252.

(4) LIAIS, *La lumière zodiacale s'étend-elle jusqu'au Soleil? (L'Espace céleste)*.

le fond du ciel, même à des distances considérables du bord du Soleil. Mais la surface de la Lune est à ce moment éclairée par la Terre et la lumière cendrée possède alors l'intensité maximum. A cette lumière doit encore s'ajouter la lumière diffuse de l'atmosphère éclairée par la couronne et par la chromosphère.

Suivant l'opinion de Liais, si dans ces conditions la surface de la Lune paraît beaucoup plus sombre que le fond du ciel, même en tenant compte du contraste, cet effet ne peut être expliqué que par la supposition que la lumière zodiacale se projette sur le fond du ciel qui environne la Lune.

Cet argument est juste en partie, mais il perd beaucoup de sa force, parce que l'atmosphère terrestre, qui n'est éclairée à l'intérieur du cône de l'ombre lunaire que par la couronne, commence déjà à être éclairée par les rayons directs du Soleil à une courte distance des bords du disque lunaire. Près de l'horizon, l'atmosphère est éclairée par le Soleil tout entier et, en raison de cela, elle présente la couleur brune si bien visible pendant les éclipses totales du Soleil.

Malheureusement, à cause de sa faible luminosité, la lumière zodiacale ne pourrait être visible dans le voisinage immédiat du Soleil, même dans les conditions les plus favorables; nous pouvons, néanmoins, énumérer une série de faits qui prouvent la connexion des deux cônes du côté du Soleil.

La lumière crépusculaire, s'entremêlant à la lumière zodiacale, rend l'observation de cette dernière plus difficile. Regardons d'abord à quel abaissement du Soleil au-dessous de l'horizon correspond la disparition complète de la lumière crépusculaire. Le moment de la fin du crépuscule a été donné par plusieurs observateurs qui avaient obtenu des résultats contradictoires.

Par exemple, d'Alhassen a trouvé que la fin du crépuscule a lieu quand le Soleil s'abaisse à 18° sous l'horizon.

Rothmann a donné pour l'abaissement du Soleil la valeur de 24° ; Nonius a trouvé 16° ; Cassini 15° ; Riccioli — 16° pour le matin et 20° pour le soir; Lacaille, aux environs du cap de Bonne-Espérance, a trouvé que le moment de la coïncidence de la courbe crépusculaire avec l'horizon est arrivé le 16 avril 1751 pour un abaissement du Soleil de $16^\circ 38'$ et le 17 avril pour un abaissement de $17^\circ 13'$ ⁽¹⁾. Dans les temps les plus récents, une longue série d'observations faites par J. Schmidt à Athènes a montré que la valeur de 18° pour l'abaissement du Soleil suffit seulement dans les cas extrêmes ⁽²⁾. Ordinairement, il faut prendre des valeurs plus grandes. Il n'y a rien d'étonnant si ces résultats sont

⁽¹⁾ ARAGO, *Astronomie populaire*, vol. III, p. 186.

⁽²⁾ J. SCHMIDT, *Ueber die Dämmerung* (*A. N.*, 63, 97).

peu concordants. En premier lieu la quantité de poussière dans l'atmosphère peut être soumise à des variations périodiques qui ont leur répercussion sur la durée du crépuscule.

Dans quelques cas exceptionnels, quand, à cause des éruptions volcaniques, une fine poussière volant à une énorme hauteur entre en grande quantité dans l'atmosphère, comme cela avait lieu, par exemple, après l'éruption connue du Krakatoa, la durée du crépuscule peut changer d'une façon considérable. En outre, les données citées plus haut ne se rapportent, en général, à aucune date déterminée, tandis qu'il est connu que la hauteur de l'atmosphère et, par conséquent, la durée du crépuscule changent suivant les saisons de l'année.

D'après Schmidt, la hauteur de l'atmosphère déduite des observations sur la durée du crépuscule oscille entre 10,5 et 7,5 milles géographiques, en passant régulièrement d'une valeur maximum en décembre à une valeur minimum en juin.

Il est très probable que la hauteur de l'atmosphère subit entre ces variations annuelles des changements diurnes et peut-être irréguliers. Schmidt a démontré, en effet, qu'il existe une étroite liaison entre la hauteur de l'atmosphère terrestre et celles du baromètre et du thermomètre. Par conséquent, la dépression du Soleil sous l'horizon ne se présente pas pour la fin du crépuscule comme une valeur constante.

En outre, il faut remarquer que la détermination de la fin du crépuscule est singulièrement difficile sous les basses latitudes à cause de la présence perpétuelle de la lumière zodiacale. Schmidt préférerait observer le moment où la base de la lumière zodiacale perd complètement la teinte rougeâtre que lui donne la lumière crépusculaire; c'est ce moment qu'il adoptait pour définir la fin complète du crépuscule.

A cause de tout cela, les observations exécutées par Geelmuyden à Christiania offrent un grand intérêt (¹).

Il avait observé le crépuscule dans les périodes du commencement et de la fin des nuits blanches, quand la bande crépusculaire paraît au Nord et, par conséquent, ne se joint pas à la lumière zodiacale.

Geelmuyden donne une série d'extraits de son carnet d'observations qui indique que, même pour une dépression du Soleil de 20°, on peut remarquer ordinairement les faibles traces du crépuscule.

Par exemple, le 29 août 1871, il écrit : « Je crois encore aujourd'hui pouvoir entrevoir le crépuscule au Nord à minuit; pourtant il est difficile de comparer

(¹) II. GEELMUYDEN, *Remarques sur la théorie de la lumière zodiacale*, p. 79.

l'horizon dans des directions différentes à cause des nuages. H (la hauteur du Soleil) est égale à $-20^{\circ}55'$ ».

En me basant sur tous les résultats cités, il me semble qu'il est le plus raisonnable d'adopter que le crépuscule se termine entièrement lorsque le Soleil s'abaisse sous l'horizon à 20° en moyenne.

Après cette brève digression, passons à l'exposition des preuves de la jonction des deux cônes de la lumière zodiacale. Dans le courant de l'été 1907, Campbell (¹), directeur de l'Observatoire Lick, situé sur le mont Hamilton (California), a tourné son attention vers une faible lumière près de la partie septentrionale de l'horizon qui pendant plusieurs années était bien visible pour les différents astronomes de cet Observatoire. Cette lumière a été remarquée près du point du Nord, non loin de minuit, 2 mois avant et 2 mois après le solstice d'été. Le maximum de l'intensité se trouvait près du point nord de l'horizon. En juin 1908, cette lueur avait atteint la hauteur de 18° au-dessus de l'horizon. Vers l'Est et vers l'Ouest, elle s'était propagée approximativement à 40° symétriquement par rapport au méridien. Les observations ont montré qu'avant minuit le maximum d'intensité se trouvait vers l'Ouest et qu'après minuit il se se déplaçait peu à peu vers l'Est. Quelle est la nature de cette lumière?

Il est impossible de supposer que c'est une aurore boréale, parce qu'on observe la lumière décrite seulement pendant les mois d'été. En outre, les recherches spectroscopiques ont montré que la raie de l'aurore boréale $\lambda 5571$ qui est visible ordinairement sur toute la voûte du ciel ne paraissait pas plus brillante quand on dirigeait le spectroscope sur la partie la plus intense de cette lumière. Il est de même impossible de supposer que c'est une lueur crépusculaire. En effet, comme nous l'avons montré tout à l'heure, le crépuscule se termine entièrement quand le Soleil s'abaisse à 20° sous l'horizon; dans le cas présent, le Soleil se trouvait à 30° environ au-dessous. En outre, le maximum de l'intensité de la lumière découverte n'est pas situé sur le cercle vertical qui passe par le Soleil comme il l'aurait fallu prévoir si cette apparition n'était qu'un simple crépuscule. Par contre, les observations effectuées du 27 juin au 27 août 1908 ont montré que ce maximum se place à $1^{\circ},7$ vers l'Est.

Par conséquent, la supposition la plus vraisemblable est que la lumière observée représente la lumière zodiacale ordinaire qui relie les deux cônes, celui de l'Occident et celui de l'Orient.

L'écart du maximum de l'intensité de cette lueur vers l'Est paraît entière-

(¹) FATH, *The northern limite of the zodiacal light* (P. A. S. P., 1908, vol. XX, p. 280).

ment compréhensible si l'on considère que les observations ont été exécutées après le solstice d'été. Malheureusement Fath ne communique pas dans son article les heures d'observations, ce qui permettrait de dire avec exactitude quelle devrait être la position du maximum de l'intensité de cette lumière. Mais comme les observations ont été faites vers minuit, l'écliptique devrait occuper une situation inclinée vers l'horizon, en s'abaissant dans la direction de l'Ouest vers l'Est, et le maximum d'intensité de la lumière zodiacale, en se disposant au dessus du Soleil normalement vers l'écliptique, devrait paraître un peu à l'écart par rapport au méridien. A la longue, cette lumière doit se déplacer graduellement vers l'Est.

Fath applique encore un autre critérium pour démontrer que le phénomène en question est la lumière zodiacale. De la forme apparente de la lueur observée il évalue l'étendue de la lumière zodiacale le long de l'écliptique.

Si l'on joint la limite supérieure de cette apparition avec ses bords ouest et est, et si l'on trace ces lignes jusqu'à l'intersection avec l'écliptique, ces points d'intersection se trouvent aux distances de 40° à 100° du Soleil. On obtient que la lumière zodiacale s'étend en moyenne à 46° au nord de l'écliptique et à 70° approximativement le long de l'écliptique dans l'une et l'autre direction du Soleil. En admettant que la lumière zodiacale est disposée symétriquement au Nord comme au Sud, nous observerons une forme lenticulaire de ce phénomène.

Il est évident qu'à cause de l'absorption atmosphérique les points d'intersection doivent être obtenus trop près du Soleil. Si cette influence perturbatrice qui est surtout forte dans ce cas-là n'existait pas, il est certain que ce rayonnement permettrait de reproduire d'une façon beaucoup plus exacte la forme de la lumière zodiacale ordinaire, si familière pour nous.

Pareil phénomène a été observé par d'autres observateurs indépendamment de Campbell. Le professeur Barnard a noté qu'il pouvait observer cette lumière à l'Observatoire Yerkes, pendant une ou deux semaines à l'époque du solstice d'été (¹). En effet, à cette époque, le Soleil passe à 24° au-dessous de l'horizon nord de l'Observatoire Yerkes, c'est-à-dire considérablement plus bas que la limite où les dernières traces du crépuscule sont perceptibles.

Barnard avait vu cette lueur s'étendre à plusieurs degrés suivant l'horizon nord. Il avait envisagé d'abord ce phénomène tout simplement comme une lumière crépusculaire et il avait déjà admis que, même à 30° de dépression du Soleil, le crépuscule peut encore subsister, quand les observations de New-

(¹) BARNARD, *Note on prof. Newcomb of the zodiacal light* (*Aph. J.*, 23, p. 168).

comb ⁽¹⁾ qui venaient de paraître lui ont dévoilé la nature véritable de cette apparition.

En effet, Newcomb avait observé la lumière zodiacale d'une façon systématique dans la partie septentrionale du ciel, en tenant compte de toutes les circonstances favorables pour le succès de semblables recherches. Dans ce cas-là, il est nécessaire que le Soleil s'abaisse sous l'horizon au moins à 18° et même à 20° , afin d'éviter toute influence du crépuscule. Cette condition est remplie pour tous les endroits de la surface terrestre dont la latitude dépasse 46° . En second lieu, les observations produites dans les régions montagneuses peuvent seules assurer le succès, parce que dans les plaines l'air près de l'horizon est si peu transparent que parfois il est impossible de remarquer le lever de la Lune.

En troisième lieu, les observations ne doivent être faites que pendant les mois d'été quand l'écliptique forme un petit angle avec l'horizon, c'est-à-dire à l'époque du solstice d'été. Newcomb essaya de découvrir les traces de la lumière zodiacale de minuit, en observant d'un point élevé de White Mountains. Sa tentative resta sans succès.

Après cela il recommença les mêmes observations en Suisse au mois de juillet du haut d'une montagne de 7700 pieds. Il conclut de ces observations que la lumière zodiacale était suffisamment brillante pour être visible à une distance de 35° au nord et au sud du Soleil.

« The limit of 35° , dit-il, which I have set, nevertheless seems to me much more precise than any limit that has been, or can be, set in the plane of the ecliptic. »

Le même phénomène avait été observé longtemps avant cette époque par Herrick, Yale University ⁽²⁾. Les faits que je viens de signaler prouvent assurément que la lumière zodiacale forme un anneau complet qui atteint l'intensité et la largeur maximum près du Soleil.

Mais alors que signifient les phases de la lumière zodiacale?

Serpieri ⁽³⁾ et Groneman ⁽⁴⁾ sont convaincus que dans aucun cas elles ne peuvent être produites par le crépuscule et par la variation de la transparence de l'atmosphère.

⁽¹⁾ NEWCOMB, *An observation of the zodiacal light to the north of the Sun* (*Aph. J.*, 22, p. 209).

⁽²⁾ *P. A. S. P.*, vol. XX, 1908, p. 280.

⁽³⁾ SERPIERI, *La luce zodiacale*, p. 19.

⁽⁴⁾ GEELMUYDEN, *Remarques*, IV.

En faveur de leur avis, Serpieri et Groneman présentent les raisons suivantes :

D'abord, dans le ciel apparaîtrait la lumière diffuse, et ce n'est que plus tard que se montrerait la lumière centrale. Mais il est difficile de concevoir pourquoi le cône central n'est pas visible le premier s'il se trouve déjà dans le ciel. On ne rencontre jamais dans les observations de Jones l'indication de ce fait que la lumière centrale sortirait quelquefois des limites de la lumière diffuse. Elle reste toujours entourée par cette lumière diffuse, même dans le cas des phases les plus marquées. En outre, Serpieri trouve peu compréhensible pourquoi la lumière centrale présente les phases les plus considérables, tandis que, selon son opinion, les changements dans la transparence de l'atmosphère doivent produire sur elles une influence minimum. Il estime que les mouvements de la lumière zodiacale sont trop réguliers pour être attribués aux influences de l'atmosphère et que les conditions atmosphériques devraient agir d'une façon contraire au lever et au coucher du Soleil.

On n'observe jamais les phases ordinaires de l'élévation et de l'abaissement séparés des autres changements dans l'inclinaison du cône et la situation de son axe. Quand le cône monte, sa base se rétrécit, et quand il s'abaisse, sa base, au contraire, s'élargit, et cela, d'après Serpieri, ne peut pas être produit par la transparence plus ou moins grande de l'atmosphère. En se fondant sur tous ces arguments, Serpieri a conclu que les phases ne peuvent pas être attribuées aux influences atmosphériques; qu'il existe une énergie interne agissant spécialement sur la partie centrale de la lumière zodiacale qui l'anime, l'agite et la développe suivant les lois qui lui sont propres.

Remarquons avant tout que Jones effectuait ses observations, en voyageant sous toutes les latitudes entre 42° Nord et 54° Sud, la plupart de ses observations ont été faites sous une latitude d'environ 30° .

Or, sous cette latitude, le crépuscule dure 1 heure 30 minutes en moyenne; mais sous la latitude extrême de 54° Sud la durée du crépuscule atteint en moyenne 2 heures 20 minutes. En raison de cela, il se présente avant tout la supposition que l'existence des phases est due tout simplement à la lumière crépusculaire.

Quand la lumière crépusculaire est encore perceptible, les premières traces de la lumière zodiacale commencent à se dessiner faiblement au-dessus de la courbe crépusculaire; à cause de leur faiblesse, elles sont considérées par les observateurs comme la « lumière diffuse », tandis que la partie centrale du cône se relie encore entièrement à la lumière du crépuscule. Mais peu à peu le fond du ciel s'assombrit; l'observateur commence à distinguer les parties de la lumière

zodiacale de plus en plus faibles et ainsi il lui semble que la lueur monte de plus en plus.

Serpieri trouve étrange que la lumière centrale présente des phases plus marquées. Mais les divisions de la lumière zodiacale ne traduisent que des impressions passagères et je crois qu'il est certain que la partie de ce phénomène qui est appelée la *lumière centrale* au commencement de la soirée n'est plus la même à sa fin.

Pareille influence au crépuscule doit, certainement, se manifester régulièrement chaque matin et chaque soir. Cette opinion sur le rôle du crépuscule dans l'apparition des phases est encore confirmée par cette circonstance qu'au début de la soirée le cône apparaît plus large qu'à la fin. C'est précisément l'effet du mélange de la lumière de la courbe crépusculaire avec la lumière zodiacale. Sous les tropiques, où le crépuscule est beaucoup plus court que dans la zone tempérée, le cône de la lumière zodiacale, comme je l'ai déjà dit, semble incomparablement plus étroit.

En outre, il est clair que les bords et l'axe du cône doivent être soumis à des changements dans leur élévation pendant l'élévation de la lumière zodiacale. En effet, supposons, par exemple, que l'axe de la lumière zodiacale coïncide exactement avec l'écliptique.

Alors, vers l'époque de la position la plus basse du cône, il sera exposé dans la proportion la plus grande à l'absorption atmosphérique de la lumière qui est très considérable près de l'horizon. Il est évident qu'en raison de la position inclinée du cône à nos latitudes, la ligne de son intensité maxima, c'est-à-dire son axe apparent, ne coïncidera plus avec l'écliptique, mais reculera vers le Nord en s'écartant de l'écliptique d'une façon plus marquée à l'horizon qu'à ses autres parties. L'absorption atmosphérique agit de moins en moins sur les parties plus hautes de la lumière zodiacale, que l'observateur commence à distinguer, et, par conséquent, il lui semble que le sommet du cône de cette lueur s'approche de l'écliptique à mesure de son élévation. Dans la suite, nous reprendrons cette question.

Nous voyons que le crépuscule, dont la durée est beaucoup plus grande que Serpieri n'a pensé, intervient d'une manière prononcée dans les phases de la lumière zodiacale. Mais, seul, le crépuscule n'explique pourtant pas ce phénomène dans toute son étendue. Il résulte des observations de Jones, citées par Serpieri, que les cônes de la lumière zodiacale continuent à se déplacer d'une façon sensible (parmi les étoiles) 3 heures après le coucher du Soleil, quand les dernières traces du crépuscule devraient avoir entièrement disparu.

Il me semble qu'on peut expliquer ce fait le plus rationnellement par l'aug-

mentation de la sensibilité de la rétine à mesure que la nuit avance. Il est difficile de dire, bien entendu, jusqu'à quel point cette supposition est juste, mais elle expliquerait aussi d'une façon claire et simple la différence habituelle entre les élongations du cône du matin et de celui du soir, différence qui était observée toujours par Jones ainsi que par Heis et par Weber.

On doit signaler une circonstance très curieuse, à savoir que Jones lui-même regardait ces phases comme une apparence purement atmosphérique, parce qu'il attribuait à la lumière zodiacale une origine cosmique indépendante de la Terre et de l'heure locale.

Heis, excellent observateur, qui avait étudié la lumière zodiacale pendant 29 ans, ne mentionne rien de ces phases, supposant évidemment qu'elles ne sont pas produites par la lumière zodiacale elle-même. Dans tous les cas, avant de parler des changements réels dans la lumière zodiacale, il faut démontrer que la sensibilité de la rétine reste constante pendant toute la nuit, que la transparence de l'atmosphère n'est pas soumise à des variations systématiques. Si tout cela n'est pas encore démontré, il n'y a pas lieu d'imaginer les forces intérieures et inconnues qui pourraient développer les phases observées de la lumière zodiacale.

L'INTENSITÉ DE LA LUMIÈRE ZODIACALE.

Signalons maintenant une série de faits concernant l'intensité de la lumière zodiacale. Ce phénomène est, en général, très faible et, évidemment, il est soumis dans une mesure plus ou moins grande aux influences atmosphériques. Il en résulte qu'il est nécessaire de citer les indications fournies par un grand nombre d'observateurs qui ont étudié la lumière zodiacale dans diverses périodes, dans différentes localités et dans les conditions d'observations les plus variées.

Le 12 février 1896, à 7^h 30^m du soir, à Juvisy, à 40° de hauteur, la lumière zodiacale a été deux fois plus intense qu'à l'endroit de la Voie lactée qui se trouve au nord-est de α Cygni (Antoniadi) (1).

Henry-Jule Childs, à Portland, communique que le 20 mars 1898, à 8^h 30^m du soir, la lumière zodiacale a dépassé par son intensité les parties les plus brillantes de la Voie lactée, mais les 15, 16 et 17 avril, elle lui semblait très vague (2).

(1) *B. S. A. F.*, 1896, p. 168.

(2) *B. S. A. F.*, 1898, p. 405.

Banachevitch attire l'attention sur l'apparition de la lumière zodiacale particulièrement intense à Kasan le 26 et le 27 janvier 1911. Ce phénomène a paru même à Kasan de la même luminosité que la Voie lactée ⁽¹⁾.

Liais constate que les parties de la lumière zodiacale les plus rapprochées du Soleil ont l'intensité égale à celle de la Voie lactée ⁽²⁾.

Francis Bayldon a déduit de ces observations qu'il avait faites sous les tropiques pendant l'année 1889 que les parties de la lumière zodiacale moins éloignées du Soleil que 105° sont plus intenses que la Voie lactée; aux distances plus grandes cette lueur se rapproche d'elle par son intensité. Parfois la lumière zodiacale paraît assez intense pour laisser apercevoir seulement les étoiles de seconde grandeur. Mais comme règle on peut distinguer dans cette lumière les étoiles de la troisième grandeur ⁽³⁾.

A. Hansky a fait connaître les observations qu'il a recueillies sur ce phénomène le 21 et le 22 septembre 1905 au sommet du mont Blanc. L'intensité de la lumière zodiacale augmente vers le centre, mais son maximum est situé à 3° Nord de l'écliptique. Les parties extrêmes du cône lumineux sont très faibles; à la distance de 55° du Soleil, son intensité est égale à celle de la Voie lactée; à la distance de 40°, son intensité atteint le double de celle de la Voie lactée et à la distance de 30° elle devient triple ⁽⁴⁾.

Maunder avait observé la lumière zodiacale pendant son expédition aux Indes pour les observations de l'éclipse du Soleil. Il a trouvé que les parties les plus brillantes de la lumière zodiacale du soir surpassent de six fois l'intensité des parties les plus lumineuses de la Voie lactée. La branche matinale de ce phénomène lui paraissait égale à celle du soir et elle surpassait les parties les plus brillantes de la Voie lactée, notamment dans Sagittarius, Crux et Argo jusqu'à trois fois ⁽⁵⁾. Il remarque que le crépuscule exerce une influence beaucoup plus grande sur la lumière zodiacale que sur la Voie lactée.

La lumière zodiacale s'affaiblit si indistinctement qu'il est impossible de déterminer de contours précis. Elle est sensiblement plus claire à la distance de 30° du Soleil que la Voie lactée; à la distance de 15° elle a la même intensité; plus loin elle s'affaiblit d'une façon rapide et enfin se disperse sur le fond du ciel.

Selon Maunder, on peut déduire une idée beaucoup plus exacte sur la clarté

(1) *B. S. A. F.*, 1911, p. 225.

(2) LIAIS, *L'espace céleste*.

(3) *P. A. S. P.*, vol. XII, 1900, p. 13.

(3) *C. T.*, 26^e année, p. 167.

(5) MAUNDER, *Note on the zodiacal light* (*M. N.*, 1898, p. 301).

de la lumière zodiacale du fait qu'elle était bien visible le 24 janvier et le 22 février 1898, malgré la présence de la nouvelle Lune. Mais les nuits suivantes, le 25 janvier et le 23 février, aucune observation de ce phénomène n'était possible.

« Les 18, 19 et 20 juillet 1858, écrit Liais, malgré la présence de la Lune, j'ai pu observer les traces de la lumière à l'Ouest (la Lune a été nouvelle le 10 juillet), mais cette lumière était alors à la limite de visibilité ⁽¹⁾. »

Nous voyons que divers observateurs donnent des indications tout à fait différentes au sujet de l'intensité de la lumière zodiacale, et il est très compréhensible que les observations semblables indiquent non seulement l'intensité du phénomène en question, mais encore le degré de transparence de l'atmosphère. On compare d'habitude ce phénomène avec la Voie lactée, mais les deux objets de comparaison se présentent ordinairement dans des conditions diverses. Tandis que la lumière zodiacale est observée non loin de l'horizon, surtout sous les latitudes élevées, et est soumise à tous les changements dans la transparence de l'atmosphère et à l'influence variable du crépuscule, la Voie lactée est observée habituellement à une hauteur considérable et n'est pas reliée d'une façon apparente avec le Soleil. En général, on peut dire que la lumière zodiacale s'approche de la Voie lactée par son intensité et la surpasse même dans ses parties voisines du Soleil.

Cependant les grandes divergences dans les témoignages des divers observateurs ne peuvent être expliquées par les seules influences atmosphériques. Il faut attribuer en partie les changements apparents de l'intensité de la lumière zodiacale à sa propre nature.

A ce sujet, il est intéressant de citer les observations de M. Marius Honnorat qui avait étudié attentivement ce phénomène pendant quelques années, en notant à chaque observation l'état de l'atmosphère ⁽²⁾.

Honnorat a établi deux échelles que voici :

Conditions des observations.		Intensité de la lumière zodiacale.	
Très bonnes.....	1	Lueur extraordinairement intense.	1
Bonnes.....	2	» très intense.....	2
Assez bonnes.....	3	» intense.....	3
Médiocres.....	4	» assez intense.....	4
Mauvaises.....	5	» faible.....	5
Très mauvaises.....	6	» très faible.....	6

⁽¹⁾ LIAIS, *L'espace céleste*.

⁽²⁾ B. S. A. F., 1903, p. 170.

Les intensités de la lumière zodiacale exprimées par cette échelle étaient, en 1903, les suivantes :

Date.	Conditions atmosphériques.	Élongation du sommet.	Intensité.
1902. Déc. 1.....	2,0	75 ?	6,0
2.....	1,5	75 ?	6,0
16.....	3,5	85	5,4
18.....	2,5	90	5,0
19.....	1,2	90	5,2
19.....	1,0	122	5,8
20.....	1,0	95	4,4
21.....	2,5	103	5,0
22.....	3,0	?	5,4
25.....	2,4	83	5,6
27.....	1,8	81	4,5
28.....	1,3	80	5,5
31.....	1,0	90	4,0
1903. Janv. 1.....	1,0	97	3,5
21.....	1,0	112	1,0
22.....	1,0	111	1,2
25.....	3,0	108	3,2
26.....	1,2	75	3,0
27.....	1,0	75	3,0
28.....	1,0	73	3,5
29.....	1,4	72	2,4
Févr. 13.....	1,1	95	1,2
14.....	3,0	94	3,0
15.....	1,2	93	1,0
16.....	1,0	92	1,0
17.....	3,0	90	2,8
18.....	3,0	95	4,0
19.....	1,1	94	2,5
20.....	1,0	94	1,5
21.....	2,0	94	2,3
22.....	4,0	93	4,5
24.....	1,0	93	2,5
25.....	2,5	?	2,4
26.....	4,0	?	4,0
Mars 17.....	1,0	82	1,0
21.....	1,0	85	1,5
24.....	1,0	?	1,5
25.....	2,0	?	3,0
28.....	1,0	75	4,0
30.....	1,0	75	2,0
Avril 15.....	4,0	?	3,0

L'examen de ces nombres indique que l'intensité de la lumière zodiacale ne suit pas même approximativement les conditions atmosphériques. Sans doute l'échelle de M. Honnorat ne mesure probablement pas toujours la transparence

de l'atmosphère; sans doute aussi l'échelle donnant l'intensité de la lumière zodiacale est un peu vague et ne se rapporte spécialement à aucune de ses parties. Il semble tout de même très probable que ce phénomène varie lui-même en intensité. Cette conclusion paraît d'autant plus juste que l'intensité de la lumière zodiacale ne concorde pas avec la grandeur des élongations de ses branches, ainsi qu'on peut le voir par les données ci-dessus.

Le capitaine Tupman ⁽¹⁾ avait observé la lumière zodiacale sur la Méditerranée pendant 3 ans. Les changements de cette lueur étaient remarquables. Son intensité était, parfois, telle que les grandes planètes qui se trouvaient au milieu d'elle ne pouvaient influencer sa visibilité. Après quoi, dans l'intervalle de quelques jours, elle devenait tout à fait faible. On est fondé à croire que la vue de l'observateur reste toujours à peu près la même et, par conséquent, même considérant les changements possibles dans la transparence de l'atmosphère et dans la position de l'écliptique par rapport à l'horizon, il faut admettre des changements réels de l'intensité de la lumière zodiacale.

Daniel Sviatsky ⁽²⁾, communiquant ses observations sur ce phénomène, écrit entre autre : « 21 mars 1898. A 8^h30^m, la lumière zodiacale atteignit le maximum de sa force. La clarté égalait celle de la Lune, quand celle-ci s'apprête à émerger au-dessous de l'horizon (Orel, Russie). »

Si ceci est vrai, un renforcement si extraordinaire de l'intensité de la lumière zodiacale ne peut certainement constituer un phénomène apparent.

Arago remarque, dans son *Astronomie populaire*, que l'intensité de cette lueur change perpétuellement, même dans l'intervalle de quelques jours, ce qui, selon son opinion, ne peut être attribué aux influences atmosphériques.

A. Humboldt ⁽³⁾ a publié quelques extraits de son journal de bord entre 12°9' et 15°20' de latitude Nord et 104°27' et 105°46' de longitude Ouest de Paris, du 14 au 19 mars 1903. Il lui semblait étonnant que pendant 5 ou 6 nuits consécutives l'intensité de la lumière zodiacale augmentait et diminuait progressivement. Elle était à peine perceptible trois quarts d'heure après le coucher du Soleil; mais à 7^h15^m elle parut dans toute sa beauté; elle était tellement splendide que l'on pouvait croire qu'il s'agissait d'un second coucher du Soleil. Après 10^h du soir le phénomène disparut; il n'est resté qu'une faible bande uniforme traversant la voûte céleste. Quand la lumière zodiacale était encore très bril-

(1) C. TUPMAN, *On the zodiacal light* (M. N., vol. XXXII, p. 74).

(2) B. S. A. F., 1899, p. 124.

(3) A. HUMBOLDT, *On certain appearances connected with the zodiacal light* (M. N., vol. XVI, p. 16).

lante, Humboldt pouvait distinguer à l'Est une lueur semblable qui avait aussi la forme pyramidale. Cette lueur suivait les variations d'éclat de la première et elle disparut avec celle-ci. Humboldt était porté à croire qu'il se trouvait en présence d'une réflexion de la lumière zodiacale. Il dit que des réflexions semblables se produisent souvent sous les tropiques au moment du coucher du Soleil, mais il est vraiment étonnant que la lumière zodiacale puisse elle-même produire une telle réflexion. « All these luminous appearances were almost the same from the 14 to the 19 of March. We did not see zodiacal light on the 20 and 21 of March although the nights were beautiful in the highest degree ».

Il est intéressant de citer encore une observation importante de Perrotin ⁽¹⁾. Selon lui, au printemps de 1900, la lumière zodiacale s'est montrée à Nice (en mars et en avril) avec un éclat extraordinaire.

« Nous en avons été tellement frappé qu'à deux ou trois reprises, nous avons cru devoir signaler cette circonstance à nos collaborateurs, comme ayant, à nos yeux, le caractère d'une nouveauté et presque d'un événement scientifique. »

Il faut en conclure que l'intensité apparente de la lumière zodiacale devient parfois vraiment extraordinaire, mais c'est avec une grande réserve que nous admettons les variations réelles de son éclat. En effet, le phénomène est très faible et est naturellement assujéti à bien des influences perturbatrices, surtout à celle de l'absorption atmosphérique. Les observations de A. Humboldt ⁽²⁾ donnent la possibilité de se faire une idée sur le rôle important que l'atmosphère joue dans les fluctuations d'intensité de la lumière zodiacale. Suivant le témoignage de Humboldt, à mesure que croît la hauteur à laquelle se trouve l'observateur au sommet d'une montagne ou sur un haut plateau, la lumière zodiacale augmente d'intensité d'une manière surprenante.

« Sur les hauts plateaux des Cordillères, écrit-il, dans la ville même de Mexico..., je fus également frappé du grand accroissement de vivacité que prend la lumière zodiacale quand on s'élève à une certaine hauteur (sous les tropiques comme dans la zone tempérée). Les variations dans le phénomène lui-même ne me paraissent pourtant pas toutes, à en juger par mes observations, pouvoir être expliquées par la condition de notre atmosphère. »

(1) PERROTIN, *Sur la dernière éclipse du Soleil et la lumière zodiacale* (C. R., 1900, p. 1685).

(2) A. HUMBOLDT, *Sur quelques phénomènes d'intensité de la lumière zodiacale* (C. R., t. XLI, p. 613).

Cet effet étonnant se produit, probablement, en raison de ce que la lumière zodiacale n'a aucune forme déterminée et limitée. Au fur et à mesure de l'élévation, et quelque petit que soit l'accroissement de clarté, l'observateur obtient la possibilité de distinguer les parties qui, auparavant, demeuraient invisibles, de sorte qu'il exagère involontairement l'augmentation de l'intensité de tout le phénomène. Par contre, les intensités des objets bien limités, comme, par exemple, la Voie lactée et plus encore les étoiles, n'augmentent pas d'une façon aussi surprenante.

En effet, comme on peut le voir dans les Tables d'absorption atmosphérique de Müller (1) pour Potsdam (100^m de hauteur) et pour le Sântis (2500^m) la différence d'intensité est tout à fait insensible.

Ainsi, par exemple, ces Tables donnent, pour une distance zénithale de 40°, la différence d'absorption atmosphérique pour ces deux stations, égale seulement à 0,02 de grandeur stellaire, pour 60°, — 0,09, et, pour 80°, — 0,35.

Pourtant il paraît possible que l'absorption atmosphérique soit vraiment plus forte pour la lumière zodiacale et que la Table ordinaire d'absorption ne puisse être appliquée dans ce cas. En effet, si ce phénomène émet principalement de la lumière de courte longueur d'onde, c'est-à-dire s'il est en réalité de couleur bleuâtre, son intensité doit être changée plus fortement par l'absorption atmosphérique. Toutefois, en se rapportant avec bien des précautions aux changements dans l'intensité de la lumière zodiacale, il faudrait reconnaître que ce phénomène est soumis en lui-même aux changements considérables de sa clarté.

Il reste maintenant à résoudre la question suivante : Ces changements sont-ils produits d'une façon irrégulière ou dépendent-ils au contraire d'une cause périodique ? Schermann (2) a fait des recherches intéressantes à ce sujet. Pour parler plus exactement, il a examiné le changement des elongations de la lumière zodiacale dans les périodes diverses, qu'il a mises en relations avec les saisons de l'année et avec la période undécennale du Soleil. Mais nous savons déjà que la lumière zodiacale n'a aucune limite déterminée, qu'elle forme le long de l'écliptique un anneau complet dont l'intensité augmente quand la distance du Soleil diminue. Donc les elongations apparentes plus grandes indiquent tout simplement l'accroissement de l'intensité du phénomène.

Des observations de Schmidt, Dechevrens, Heis, Weber et Jones, Schermann

(1) Prof. Dr MÜLLER, *Die Photometrie der Gestirne*, p. 515.

(2) O.-F. SCHERMANN, *Unser Wissen über das Zodiacallicht* (*H. E.*, vol. I, 1889, p. 597).

a déduit la Table suivante, montrant les extensions apparentes de la lumière zodiacale aux divers mois de l'année.

	Juill.	Août.	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Févr.	Mars.	Avril.	Mai.	Juin.
SOIR.												
1843-1855. Schmidt	»	»	»	»	182,5	153,1	120,4	94,3	73,6	70,8	93,0	»
1875-1879. Dechevrens . . .	»	»	»	58	65	126	120	93	65	82	79	68
1849-1860. Heis, Weber . .	»	»	»	»	»	81,8	84,2	80,8	64,8	63,0	62,0	»
1861-1871.	»	»	»	»	»	84,3	89,0	84,8	76,8	75,8	70,7	»
1872-1883.	»	»	»	»	»	106,9	94,0	92,1	90,4	100,6	108,1	»
1854. Jones	102	92	78	73	69	94	85	87	97	99	90	104
MATIN.												
1875-1879. Dechevrens . . .	»	60	70	65	90	113	103	65	90	»	»	»
1849-1860. Heis, Weber . .	»	56,3	61,4	69,8	57,2	64,5	67,2	»	»	»	»	»
1861-1871.	»	58,0	60,5	74,7	84,0	68,3	»	»	»	»	»	»
1871-1883.	»	»	104,9	104,4	97,3	98,3	99,4	»	»	»	»	»
1854. Jones	130	128	138	116	121	132	101	109	94	119	135	139

On voit bien toute la diversité de ces chiffres. Tous les observateurs, excepté Jones, trouvent, à ce qu'il paraît, que les branches de la lumière zodiacale du soir sont plus étendues au mois de janvier ou plutôt au mois de décembre. Mais alors on doit trouver assez significative la coïncidence des plus grandes élongations avec les nuits de décembre les plus sombres de l'hémisphère boréal et les situations de l'écliptique les plus élevées. D'autre part, pour la plupart des observations que Jones a effectuées dans l'hémisphère austral, il résulte que les élongations en question restent sensiblement constantes, ou plutôt ont leur maximum au mois de juin qui est un mois d'hiver pour l'hémisphère austral. Comme nous le verrons plus tard, il résulte de toutes les observations sur la lumière zodiacale que les branches du matin et celles du soir font partie d'un même phénomène; qu'il est très probable que la branche observée en décembre au soir est la même branche observée en juin au matin. Mais, dans ce cas, les élongations des branches matinales doivent se succéder dans l'ordre inverse, c'est-à-dire elles doivent avoir leur maximum en juin et leur minimum en décembre.

Or, les observations de l'hémisphère Nord montrent plutôt le contraire : c'est encore le mois le plus sombre qui possède les élongations les plus étendues, quoique cela n'est pas exprimé ici aussi distinctement que dans le premier cas. Par contre, les observations de Jones n'attribuent à aucun mois le maximum des élongations.

Tout ceci montre, à ce qu'il me semble, que la variation régulière des elongations de la lumière zodiacale suivant les saisons de l'année est une pure apparence ; en tout cas les données d'observations sont trop vagues et trop inexactes pour qu'on puisse en déduire une conclusion certaine.

Pour examiner la question de la connexion des elongations de la lumière zodiacale avec la période undécennale du Soleil, Schermann a réuni les observations de Heis, Weber, Schmidt, Backhouse, Birt, Lowe, Webb et Jones.

A vrai dire, ces résultats ne permettent pas de considérer ce problème comme résolu.

La courbe des elongations de la lumière zodiacale obtenue par Schermann n'offre qu'une vague similitude avec la courbe correspondante des « nombres relatifs » des taches du Soleil de Wolff. Le maximum des elongations de la lumière zodiacale en 1855 coïncide parfaitement avec le minimum des taches solaires de la même année. L'autre maximum, en 1875, coïncide aussi à peu près avec le minimum correspondant des taches, mais le maximum vraiment extraordinaire de 1868 peut être rapporté au minimum aussi bien qu'au maximum des taches.

Dans leurs autres détails, les courbes ne se ressemblent pas même approximativement. En général, il paraît toutefois très probable qu'il existe une relation assez masquée par les circonstances étrangères entre l'activité du Soleil et les développements de la lumière zodiacale, de telle façon qu'au minimum des taches corresponde l'intensité maxima de la lumière. Mais, pour résoudre définitivement cette question, il faut disposer d'un nombre d'observations embrassant plusieurs périodes undécennales pour exclure, dans la mesure du possible, les causes accidentelles qui influencent extrêmement la lumière zodiacale.

Ordinairement, la ligne de l'intensité maxima de la lumière zodiacale n'est pas située suivant l'axe du cône, mais elle s'écarte un peu vers le Sud. De même, le bord sud de la lumière zodiacale paraît, au moins sous les latitudes boréales, plus nettement marqué que le bord nord. Pourtant, dans quelques cas, les observateurs notent d'autres aspects du phénomène.

Par exemple, Astruby ⁽¹⁾ a vu, le 2 février 1898, à 7^h8^m du soir, la partie du nord beaucoup mieux limitée que celle du sud, mais pas plus intense.

Guy-J. Bridges écrit ⁽²⁾ qu'ordinairement, il lui arrive de trouver, quand la

⁽¹⁾ *J. B. A. A.*, vol. IX, p. 329.

⁽²⁾ BRIDGES, *Some thoughts on the zodiacal light* (*J. B. A. A.*, vol. XIII, p. 242).

lumière zodiacale est suffisamment vive, le bord nord beaucoup plus marqué que celui du sud.

Parfois les changements de l'intensité de la lumière zodiacale, en passant dans ses parties séparées, sont tellement forts que l'aspect de la lueur change d'une façon considérable. Waard, à Bangil (Java), écrit que le 30 juin 1898 la lumière zodiacale lui a paru avoir la forme de la Tour Eiffel ; près de l'horizon elle avait la largeur de 75° et, en se rétrécissant peu à peu, atteignait près du zénith la largeur de 1° seulement ⁽¹⁾. E. Touchet a vu, le 8 avril 1898, la lumière zodiacale avec une distribution irrégulière de son intensité ⁽²⁾. Mais il est à remarquer que ses observations ont été faites à Paris, par conséquent dans les conditions les plus défavorables.

Jevons ⁽³⁾, à Liverpool, a vu, en observant la lumière zodiacale, un rayon lumineux qui a jailli de l'horizon un peu au nord du point où le Soleil était couché. Ce rayon a été visible pendant 5 minutes à peu près ; sa hauteur était de 5° et la largeur — 1° . Cette observation a produit en son temps une certaine émotion dans les milieux compétents, mais après de vives discussions on a fini par penser que ce rayon était très probablement dû à l'aurore boréale.

Le Rev. Guy J. Bridges ⁽⁴⁾ a observé une fois une bifurcation, pour ainsi dire, de la lumière zodiacale ; cette lueur s'était présentée à lui sous la forme d'une colonne un peu inclinée (60°) vers l'horizon dans la direction du sud. Le bord sud de cette colonne était très diffus ; celui du nord, par contre, semblait bien marqué. En outre, du côté du nord de cette colonne sortait une autre plus courte colonne qui s'éloignait normalement à l'horizon, ayant la même base que la première. La limite nord était aussi bien marquée que celle du sud. Il pouvait remarquer, dans cette colonne et dans la partie nord la plus brillante de la première, de légers et rapides changements d'éclat, une sorte de pulsation.

Bridges croit que ces changements rapides de forme et d'intensité ne dépendent que des influences atmosphériques. En donnant la description de ces cas remarquables, dont il lui fut arrivé d'être témoin, il ajoute qu'on peut ordinairement observer quelque chose de semblable dans la lumière zodiacale après une pluie lorsque l'atmosphère est refroidie et contient plus d'électricité.

⁽¹⁾ *B. S. A. F.*, 1899, p. 471.

⁽²⁾ *B. S. A. F.*, 1899, p. 119.

⁽³⁾ *M. N.*, vol. XXXI.

⁽⁴⁾ *J. B. A. A.*, vol. XIII, p. 242.

« These seem the atmospheric conditions, which accompany the last displays of the zodiacal Light, as a rule. »

Les petits cirri qui demeurent invisibles pendant la nuit gênent considérablement les observations de la lumière zodiacale, agissant, d'après Bayldon, de façon à faire varier perpétuellement l'intensité de la lueur ⁽¹⁾.

Par conséquent, quoique les lents changements d'intensité de la lumière zodiacale soient hors de doute, il semble que les variations brusques et irrégulières doivent être mises sur le compte de l'atmosphère.

Mais il existe encore d'autres singuliers changements de la lumière zodiacale connus sous le nom de *pulsations*.

Il faut pourtant dire que ces pulsations sont loin d'être signalées par la plupart des observateurs de la lumière zodiacale. D'une façon systématique elles n'étaient observées que par Jones. Serpieri ⁽²⁾, d'après les observations de Jones, désigne sous le nom de *pulsations* : 1° les augmentations et les diminutions brusques de la hauteur du cône; 2° les vibrations des bords du cône; 3° les pulsations proprement dites qui ne sont que des vibrations rapides de son intensité. Comme exemple des pulsations de la première catégorie, unies à celles de la troisième, je citerai les observations suivantes de Jones ⁽³⁾ :

« Le 30 janvier 1854 soir (Napa-Kieng, Loo-Choo) :

7^h50^m stronger light hat its boundaries as the line *b* (élong. 73°) and was very bright.

7^h52^m id had mak to the boundaries marked *a* (élong. 64°) and was very dim.

7^h54^m had risen to *b* again, and was bright.

7^h55^m at *a* and very dim.

7^h56^m at *b* and bright.

7^h57^m at *a* and very dim.

7^h58^m30^s at *b* and bright.

7^h59^m30^s still at *b* and bright; it seemed now to lee permanent at *b*. »

Serpieri distingue encore les pulsations d'une quatrième catégorie consistant en ondulations rapides traversant le cône; mais on peut identifier celles-ci avec celles de la première catégorie dont la période est excessivement courte.

La déduction suivante tirée par Serpieri des observations de Jones, paraît très importante.

(1) BAYLDON, *Notes on the zodiacal light* (P. A. S. P., vol. XII, 1900, p. 13).

(2) SERPIERI, *La luce zodiacale*, p. 71.

(3) SERPIERI, *Ibidem*, p. 69.

Le phénomène des pulsations a lieu ordinairement 1 heure et demie ou 2 heures après le coucher du Soleil. En hiver, les pulsations commencent plus tard; en été, au contraire, elles suivent de plus près le coucher du Soleil. Les observations du matin sont trop peu nombreuses pour qu'on puisse en déduire une conclusion quelconque.

Si l'on compare la hauteur du cône avec les pulsations à la hauteur qu'il avait la veille (sans pulsations), on s'aperçoit que les pulsations diminuent toujours la hauteur de la lumière zodiacale et en même temps son intensité.

A la fin des pulsations, la hauteur du cône atteint sa valeur normale, approximativement égale à celle observée les soirées voisines.

« La pulsazione ⁽¹⁾, écrit Serpieri, sorge unicamente a ristorare i mancamenti e le perdite che minacciano di distruggere tutto il cono centrale; e così non è indizio di straordinaria abbondanza o più vivace espansione delle masse luminose zodiacali, ma piuttosto di straordinarie resistenze contro cui combatte l'ordinaria attività del fenomeno. »

En outre, il est très intéressant de noter que les pulsations dans toute leur étendue et dans leur caractère dépendent probablement des conditions locales. A Jeddo, d'après Serpieri ⁽²⁾, le phénomène se présentait toujours dans les mêmes limites. On le voyait quelquefois pendant la traversée de l'océan Pacifique, mais dans des proportions minimales. Près des côtes américaines, il se renouvelait.

Il semble que les pulsations paraissent être diverses dans des localités différentes et à la même station elles gardent leur caractère pendant quelques soirées consécutives.

La lumière diffuse n'est presque soumise à aucune pulsation. Jones les distinguait uniquement dans la plus brillante partie de la lumière zodiacale ou « lumière centrale ». On peut de plus remarquer qu'elles n'étaient pas observées près de l'horizon même, mais toujours à une certaine hauteur (20° à peu près). Ces palpitations n'apparaissent souvent que dans quelques parties du cône de la lumière zodiacale, mais non dans toute son étendue.

En citant toutes ces propriétés du phénomène des pulsations, Serpieri dit qu'elles ne peuvent être dues aux influences atmosphériques, mais que, selon toute probabilité, elles dépendent de la nature propre de la lumière zodiacale.

⁽¹⁾ SERPIERI, *La luce zodiacale*, p. 79.

⁽²⁾ SERPIERI, *Ibidem*, p. 103.

L'importance de cette question est évidente. S'il est vrai que la matière de la lumière zodiacale est soumise aux pulsations dépendant de l'heure locale, on a là un puissant argument en faveur de l'opinion que chaque localité possède sa propre lumière zodiacale.

A cause de cela il est nécessaire d'examiner un peu plus attentivement cette question. Quelques tremblements dans la lumière zodiacale ont été parfois observés avant Jones, mais seulement comme de rares exceptions. Nous trouvons déjà chez Mairan une première mention de ces tremblements.

Humboldt écrit : « Dans quelques rares cas j'ai cru que je percevais non pas exactement une coloration rougeâtre, ni la partie inférieure en forme d'arc, ni même une scintillation, comme Mairan affirme l'avoir observé, mais une sorte de tremblement, de vacillement de la lumière ⁽¹⁾. »

Nous trouvons de même chez Arago une observation des pulsations ⁽²⁾. Ainsi, le 28 mars 1843, Arago a observé en même temps la fameuse comète de cette année et la lumière zodiacale et a remarqué de petits vacillements de son éclat.

« La lumière zodiacale nous a paru sujette à des changements brusques d'intensité. Y a-t-il une illusion dépendante d'un changement dans la diaphanéité de l'atmosphère ? De pareilles intermittences ne se remarquaient pas dans la queue de la comète. »

Pourtant, il est difficile de comparer dans ce cas la lumière zodiacale avec la queue d'une comète, car les deux phénomènes sont des caractères différents. Il est vrai que la comète possédait presque la même intensité que la lumière zodiacale, mais elle était beaucoup plus étroite. Les observations d'Arago, le 18 et le 19 mars, ont donné pour la largeur de la queue 1° 15' à peu près.

En outre, on connaît quelques observations de Birt, Burr ⁽³⁾ et Lowe ⁽⁴⁾.

Lowe donne une description analogue à celle de Jones. Je me permets de donner ici un extrait de ses intéressantes observations :

« Le 20 mars 1851, 8^h du soir : At three different periods during the observations the light widened in extent, and this widening took place each time when the light was at its maximum brightness. This was first noticed midway between β and α Arietis, and thirdly at 8^h 3^m when it covered α Arietis; it remained in this widened state from 1^s to 3^s returnisys each time to its mean place between β and γ Arietis. »

(1) HENKEL, *La lumière zodiacale* (*Scientia*, vol. XII, 1912).

(2) ARAGO, *Astronomie populaire*, t. II, p. 193.

(3) BURR, *Observations of the zodiacal light* (*M. N.*, vol. XV, 1854, p. 92).

(4) *M. N.*, vol. XI, 1851, p. 132, et vol. XVI, p. 26.

Le 22 mars l'observateur se borna à la simple remarque :

« Pale and confused ; pulsations of brightness. »

En observant à plusieurs reprises les variations de la lumière zodiacale d'un jour à l'autre, Lowe incline à penser qu'elles ne peuvent être expliquées par les seules conditions atmosphériques ; selon son avis, elles dépendent de la nature même de la lumière zodiacale. Au contraire, Burr, à la suite d'observations analogues, hésite de croire que cette lueur change réellement d'éclat d'une façon brusque ; il rapporte les pulsations à l'influence perturbatrice de l'atmosphère. Elles furent observées comme de rares exceptions par J. Schmidt. Dans ses 131 observations nous n'en rencontrons que 3 qui mentionnent quelques pulsations de la lumière zodiacale. Elles étaient parfois observées par M. Honorat en 1900 ⁽¹⁾ qui cependant s'empresse d'ajouter : « Toutefois ces fluctuations sont peu certaines. »

Le 21 mars 1902 il lui semblait voir les changements rapides d'intensité de la lumière zodiacale ⁽²⁾, mais, selon son avis, la constitution de l'atmosphère n'était pas stable à ce moment.

Aricimis voyait parfois ces rapides mouvements vibratoires dans toute l'étendue de la lumière zodiacale ; mais il n'est pas certain que cela ne puisse être une conséquence de la fatigue des yeux ⁽³⁾.

Nous voyons que presque toutes ces observations se présentent comme douteuses aux observateurs eux-mêmes. D'autre part, il y a beaucoup d'observateurs qui, malgré toute leur habileté, malgré tous leurs efforts, n'ont jamais pu, même dans les meilleures conditions, découvrir les moindres traces de vibrations et de pulsations dans la lumière zodiacale.

« En mer comme sur les côtes, ou des plateaux élevés, écrit Liais ⁽⁴⁾, ou bien dans les vastes campos du Brésil, j'ai passé de longues heures à observer la lumière zodiacale et à chercher dans cette apparence la mobilité signalée par quelques observateurs. Toujours j'ai vu ce brillant phénomène dans l'état de calme le plus parfait. »

D'après la conviction de Liais, les pulsations devraient être une sorte de réflexion des éclairs lointains de chaleur dans l'atmosphère.

Marchand, qui avait observé la lumière zodiacale dans les conditions excellentes de l'Observatoire du Pic du Midi, dans les Pyrénées, ne mentionne jamais

⁽¹⁾ *B. S. A. F.*, 1902, p. 57.

⁽²⁾ *B. S. A. F.*, 1903, p. 170.

⁽³⁾ *M. N.*, 1875, p. 48.

⁽⁴⁾ LIAIS, *L'espace céleste*.

ces pulsations. Heis, qui avait observé la lumière zodiacale pendant 29 ans, n'a pu les voir non plus. Le professeur Piazzi Smyth ⁽¹⁾ a fait une série d'observations sur la lumière zodiacale dans des conditions particulièrement favorables en Afrique du Sud à la hauteur de 11000 pieds environ. Il n'a jamais vu les pulsations et aucune sorte de changements brusques dans l'intensité ou dans la forme de cette lueur. P. Smyth est porté à expliquer ces apparences par les gaz en mouvement, par la fatigue des yeux, par une lumière étrangère, etc.

De même M. Lewis, malgré sa vue extraordinaire qui lui permettait de distinguer dans les pléiades jusqu'à 12 étoiles à l'œil nu, malgré les précautions spéciales adoptées par lui dans la méthode des observations, n'a jamais réussi à remarquer quelque chose de semblable. Pour exercer ses yeux il avait entrepris de chercher les étoiles jusque et au delà de la 6^e grandeur avant de procéder aux observations sur la lumière zodiacale.

Lewis a trouvé qu'une pratique semblable n'est pas seulement une bonne préparation aux observations précises, mais donne en même temps une idée de la transparence de l'atmosphère. Les observations étaient faites dans une obscurité complète et les résultats furent notés aussi vite que possible. Lewis a apporté une attention particulière à l'examen des pulsations dans la lumière zodiacale, étant convaincu de leur existence. Il écrit à propos de ces observations ⁽²⁾ :

« Careful watch has been made for any pulsations in the zodiacal cone although aware of the statements of some observers as to their existence, the writer, during the whole of this observations has never once been able to detect any certain pulsations, any movement, or any sudden change in brightness in any part of the zodiacal Light; and he believes that all such apparent effects are due either to atmospheric changes or to changes in the eyesight of the observer. Since frequently an apparent diminution in brightness ensues after the observer has been looking at another part of the sky, and especially it has been found necessary to compare directly the brightness of the cone at a certain altitude with a definite portion of the Via Lactea; and it was then always noticed that the diminution in brightness of the zodiacal cone was accompanied by a corresponding change in the Via Lactea. Any change in the transparency of the atmosphere or in personal judgement affects equally both phenomena. »

(1) Prof. P. SMYTH, *On the zodiacal light* (*M. W.*, vol. XVII, 1857, p. 204).

(2) *The American Journal of Science*, 1880.

Comme nous le voyons, en conséquence de ses recherches assidues, Lewis est arrivé à la conclusion que les pulsations ne sont qu'un phénomène apparent, dépendant de la vue de l'observateur et de la transparence de l'atmosphère.

On peut encore indiquer quelques observations de phénomènes semblables dans les queues des grandes comètes et y trouver un appui à l'hypothèse de l'origine atmosphérique des pulsations. Dans sa lettre à A. Humboldt, Olbers ⁽¹⁾ communique qu'il lui est arrivé de voir les vibrations dans la queue de la comète de 1811, quoique le ciel fût complètement clair. Elles parcouraient en 1 ou 2 secondes la longueur de la queue qui tantôt s'allongeait, tantôt se raccourcissait. En outre, Snellius, Cysat, Kepler et Wendelin ont observé des vibrations instantanées dans la grande comète de 1618 ⁽²⁾. Chladini et Schröter ont remarqué des vibrations dans la queue de la comète de 1811. Mais, évidemment, dans ce cas, il est impossible d'admettre que ces vibrations aient leur siège dans les queues mêmes des comètes.

Ordinairement, la longueur des queues des comètes atteint plusieurs millions de kilomètres et la lumière doit employer plusieurs minutes pour parcourir une queue cométaire. Il est hors de doute que dans ce cas les vibrations étaient produites par l'atmosphère elle-même.

Par conséquent, il semble plus probable que les pulsations dans la lumière zodiacale ne constituent qu'un phénomène purement atmosphérique. Cela concorde très bien avec toutes les lois établies par Serpieri et qui régissent le phénomène des pulsations. D'après l'hypothèse de l'origine atmosphérique, ces oscillations doivent certainement dépendre des conditions atmosphériques locales, et leur caractère doit changer avec le lieu d'observation. Il est plus probable d'attendre leur apparition aussitôt le Soleil couché quand l'atmosphère se trouve dans l'état le plus instable à cause de l'abaissement brusque de la température. Il est vrai que Jones les avait habituellement observés 1 heure et demie à 2 heures après le coucher du Soleil; mais pendant les heures les plus proches du coucher du Soleil, le crépuscule ne lui donnait pas la possibilité de remarquer la lumière zodiacale. En été, quand la durée du crépuscule est moindre qu'en hiver, ces vibrations doivent être observées plus tôt. Enfin, à ce point de vue, il est compréhensible que Jones ait dû observer en plein océan des pulsations plus petites que près des côtes du Japon ou d'Amérique. En effet, sur les continents, par suite des réchauffements et des refroidissements du sol, l'atmosphère doit

(1) SERPIERI, *La luce zodiacale*, p. 73.

(2) SERPIERI, *Ibidem*.

être soumise à des perturbations plus marquées de l'équilibre, favorisant l'apparition des pulsations.

Concluons donc que ces vibrations n'ont lieu que dans l'atmosphère de la Terre.

POSITION DE LA LUMIÈRE ZODIACALE.

J'ai déjà mentionné que la bande de la lumière zodiacale occupe sur la voûte céleste un grand cercle se disposant approximativement le long de l'écliptique. Discutons maintenant cette question en détail. Nous avons déjà vu quelle forte influence l'atmosphère exerce sur la forme et la position de la lumière zodiacale. Tenant compte de ces perturbations ainsi que de la faiblesse extrême d'intensité de la lumière zodiacale qui ne possède aucun contour déterminé, nous pouvons prévoir que les résultats des divers observateurs n'auront que très peu de commun entre eux.

Mentionnons d'abord le résultat obtenu par Marchand à l'Observatoire du Pic du Midi (¹). D'après lui, l'axe de la lumière zodiacale serait situé tout près du grand cercle qui est incliné vers l'écliptique de 5° à 7° ; la longitude du nœud ascendant serait de 70° . En remarquant que le plan de l'équateur du Soleil est penché vers l'écliptique aussi à 7° et que la longitude du nœud ascendant est de 74° , nous voyons que le plan dans lequel est placée la lumière zodiacale coïncide presque exactement avec le plan de l'équateur solaire. Mais la Terre tournant autour du Soleil dans le plan de l'écliptique doit passer alternativement d'un côté de l'équateur du Soleil à l'autre. Si la lumière zodiacale n'est pas située trop loin de la Terre, elle doit présenter les traces sensibles du déplacement parallactique. Marchand croit que ses observations font voir cet effet de la parallaxe, effet qui est du reste très petit. Pourtant, selon son avis, ces observations doivent être encore vérifiées. Francis Bayldon (²) a trouvé les résultats tout à fait différents de ceux de Marchand. D'après lui, la ligne de l'axe central est inclinée sur l'écliptique de 4° , en traversant l'écliptique près de 0° de longitude.

Bayldon a remarqué un fait fort curieux. Quand l'observateur se déplace vers le Nord, cette ligne de l'axe central de la lumière zodiacale se déplace également vers le Nord; quand il se dirige vers le Sud, elle se déplace dans la même direction et ce déplacement est égal à 1° pour tous les 19° de latitude géographique

(¹) *B. S. A. F.*, 1896, p. 50.

(²) *P. A. S. P.*, vol. XII, 1900, p. 13.

parcourus par l'observateur. Il est plus considérable pour la base du cône et moins grand pour son sommet. Bayldon croit qu'il existe probablement un faible changement de l'inclinaison vers l'écliptique de l'axe central du cône suivant la saison.

Selon Maunder ⁽¹⁾, la branche de la lumière zodiacale du soir coïncide exactement avec l'écliptique; à ce qu'il paraît, celle du matin est inclinée, mais très peu. D'après son opinion, la branche du soir coïncide avec l'écliptique au mois de février, quand la Terre atteint la latitude héliographique maxima de $7^{\circ}5'$, ainsi qu'au mois de décembre, quand la latitude n'est que de $2^{\circ},5$.

Selon Tupman ⁽²⁾, qui avait observé la lumière zodiacale sur la Méditerranée pendant 8 ans, le plan de cette lueur ne passe pas par le Soleil. Son inclinaison vers l'écliptique n'est pas constante, mais va parfois jusqu'à 20° . Tupman estime l'erreur de 3° - 4° inadmissible dans la détermination de la position de la lumière zodiacale. Pour les positions des nœuds il a trouvé les valeurs de 40° et de 42° devant et derrière le Soleil. Les observations du 7 janvier 1870 ont donné pour l'axe de la lumière zodiacale la position de 3° Nord parallèle à l'écliptique, et Tupman croit que dans ce cas l'erreur de 3° est très invraisemblable.

Enfin, il résulte d'une série d'observations de Houzeau faites près de l'équateur que la lumière zodiacale coïncide avec le plan de l'écliptique dans les limites des erreurs d'observations.

Mais arrêtons-nous plus longtemps sur la détermination de Backhouse à l'aide de ses nombreuses observations faites à Sunderland ($\varphi = 55^{\circ}$ Nord) de 1867 jusqu'à 1877 ⁽³⁾. Pendant cet intervalle de temps, Backhouse a recueilli 418 observations sur la lumière zodiacale et par divers procédés il en déduit son inclinaison par rapport à l'écliptique et la longitude de son nœud ascendant.

Pour mieux voir quelles énormes discordances peuvent présenter les déterminations distinctes, je donnerai ici la Table des valeurs pour la longitude du nœud ascendant qui ont été fournies par la lumière zodiacale observée en diverses saisons de l'année. La première colonne contient les longitudes des points au milieu du cône de la lumière zodiacale; la seconde, la longitude du nœud :

(1) MAUNDER, *The zodiacal light* (*J. B. A. A.*, vol. VIII, p. 272).

(2) *M. N.*, vol. XXXII, p. 74.

(3) T.-W. BACKHOUSE, *On the inclination of the zodiacal light* (*M. N.*, XLI, p. 333).

340.....	28°	62.....	32°
350.....	près de — 45	111.....	44
355.....	10	126.....	près de 26
11.....	25	147.....	47
16.....	près de 16	164.....	74
25.....	40	178.....	43
35.....	de 10 à — 40	188.....	43
44.....	22	200.....	50
50.....	— 20	215.....	près de 35

Nous voyons qu'il existe d'énormes discordances. La valeur pour la longitude du nœud oscille entre les limites -45° et $+74^{\circ}$, c'est-à-dire la différence entre les valeurs extrêmes atteint 119° ! Il en résulte que la moyenne de cette Table -27° , ou la moyenne de toute la discussion numérique et graphique de Backhouse, qui propose comme résultat définitif 35° , montrent plutôt l'ordre de cette quantité que la quantité elle-même.

En considérant les parties de la lumière zodiacale quand le Soleil se trouve dans les nœuds ascendant et descendant de la lumière zodiacale, Backhouse a trouvé $1^{\circ},7$ pour l'inclinaison, alors que toutes les observations réunies donnent la valeur de $2^{\circ},9$; l'erreur de ce résultat est évidemment très grande.

La lumière zodiacale occupe-t-elle toujours la même position apparente pour toutes les positions de l'observateur sur la surface terrestre? J'ai déjà dit qu'on ne trouve aucun déplacement parallaxique de cette lueur. Mais Bayldon a trouvé et même déterminé un déplacement de la lumière zodiacale tout à fait contraire au déplacement parallaxique. Une expédition américaine au Japon ⁽¹⁾ a fourni des indications semblables sur ces déplacements. Jones, qui avait observé ce phénomène au cours de l'expédition, a trouvé que : quand l'observateur se trouve au nord de l'écliptique, la partie principale de la lumière zodiacale se trouve aussi au nord de cette ligne; quand l'observateur se trouve au sud, la partie principale de la lumière zodiacale est vue de même du côté de l'écliptique; quand, enfin, l'observateur occupe une position exactement sur l'écliptique ou dans son voisinage immédiat, la lumière zodiacale est divisée par ce cercle en deux parties égales ou à peu près. Ces résultats vraiment étranges peuvent peut-être trouver une explication dans l'influence de l'absorption atmosphérique; au moins est-ce la seule explication possible qui se présente à mon esprit. Mais il faut avouer que ces conclusions ne sont pas encore hors de doute. Les observations de Smyth ⁽²⁾, produites dans les deux hémisphères, ne leur donnent aucun appui.

(1) *United States Japan Expedition*, 1856 (3 vol.). Introd. p. xvi.

(2) C. PIAZZI-SMYTH, *On the zodiacal light* (*M. N.*, vol. XVII, 1857, p. 204).

Ce dernier savant a comparé la position de la lumière zodiacale d'après ses observations à Hottentot's Holland Swien Kop à la hauteur de 4500 pieds, en Afrique du Sud, avec la position déduite des observations semblables faites dans la même saison à Mount Gnajara, à Tenerif (hauteur 8903 pieds). Malgré la différence de 62° de latitude entre les deux stations, il a trouvé absolument la même position de ce phénomène. Smyth dit de même, que, pendant sa traversée au Cap, il voyait toujours la lumière zodiacale passant par les Pléiades sous la latitude de 34° Sud comme sous 56° Nord.

Nous voyons que tous les résultats signalés sont très peu concordants. Mais il ne suffit que d'examiner en détail les observations systématiques sur la lumière zodiacale faites par un observateur quelconque pour se persuader que la position de cette lueur ne peut être déterminée d'une façon plus exacte. Ainsi, les observations de Heis montrent que la lumière zodiacale pendant toutes les saisons de l'année, qui favorisent son observation, est située généralement au nord de l'écliptique, en inclinant légèrement vers elle son sommet.

Habituellement, l'axe de la lumière zodiacale ne passe pas par le Soleil. Les observations de Heis le 23-24 décembre 1851 ⁽¹⁾ représentent sa position régulière. Elle était disposée à peu près sur un grand cercle; en passant au nord de l'écliptique, l'axe des cônes était écarté au Soleil de 14° et s'approchait de l'écliptique peu à peu. Les sommets du cône du matin et du cône du soir étaient situés presque sur l'écliptique, éloignés d'elle aux distances de 3° et de 4° .

En prolongeant l'axe du cône jusqu'à son intersection avec l'écliptique on trouvera 360° et 197° pour la longitude de ces points, celle du Soleil étant 272° .

Cependant chaque soirée d'observation donne une nouvelle position pour le cône et cette position, parfois, ne concorde pas du tout avec celle des soirées voisines.

Citons, par exemple, l'extrait suivant des observations de Heis ⁽²⁾ :

Spitze des Zodiacallichtes.			Seitengrenzen und Achse.			
Länge.	Breite.	Elongation.	Breite.			Achse.
			Länge.	Nordgrenze.	Südgrenze.	
Nr. 124.			Münster. 1856 März 7.			8 ^h Abends.
56 ^o	—0,5	69 ^o östlich	50 ^o	6 ^o	— 5 ^o	—0,5
			40	14	— 7	8,5

⁽¹⁾ HEIS, *Zodiacallicht-Beobachtungen*, p. 6.

⁽²⁾ HEIS, *Ibidem*, p. 17.

Spitze des Zodiacallichtes.			Seitengrenzen und Achse.			
Länge.	Breite.	Elongation.	Breite.			Achse.
			Länge.	Nordgrenze.	Südgrenze.	
Nr. 124.			Münster. 1856 März 7.			8 ^h Abends (suite).
56 ^o	—0,5	69 ^o östlich	30 ^o	21 ^o	— 9 ^o	6 ^o
			20	27	— 10	8,5
			10	21	— 11	10

Nr. 125.			Münster. 1856 März 25.			8 ^h , 5 Abends.
72	—0,5	66,5 östlich	70	2,5	— 4	— 0,75
			60	7	— 10	— 1,5
			50	10,5	— 14,5	— 2
			40	14	— 18	— 2
			30	17	— 21	— 2

Nous voyons que l'observation du 7 mars 1856 donne à l'axe de la lumière zodiacale une position au nord de l'écliptique, inclinée vers elle d'une façon sensible, tandis que l'autre effectuée 18 jours après montre une situation de l'axe du cône au sud de l'écliptique qui lui est parallèle. Je cite encore deux observations (1) qui se contredisent davantage :

Spitze des Zodiacallichtes.			Seitengrenzen und Achse.			
Länge.	Breite.	Elongation.	Breite.			Achse.
			Länge.	Nordgrenze.	Südgrenze.	
Nr. 141.			Münster. 1857 December 8.			8 ^h Abends.
358 ^o	4 ^o	101 ^o östlich	350 ^o	3 ^o	— 4 ^o	+ 2,5 ^o
			340	11	— 9	+ 1
			330	12	— 14	— 1
			320	13,5	— 17	— 1,75
			310	14	— 19	— 2,5
Nr. 142.			Münster. 1857 December 18.			8 ^h Abends.
349	6	82 östlich	340	24	— 2	11
			330	29	— 5	12
			320	32,5	— 6	13,5
			310	35	— 7	14
			300	37	— 8	14,5
			290	39	— 9	15

(1) HEIS, *Zodiacallicht-Beobachtungen*, p. 19.

Le 8 décembre la lumière zodiacale était disposée plutôt vers le sud de l'écliptique en s'inclinant vers elle dans un sens contraire au sens ordinaire. Mais déjà, 10 jours après, Heis l'a représentée située presque entièrement au nord de l'écliptique; son inclinaison avait le caractère habituel. Les autres observations de Heis montrent des discordances semblables dans la position du cône de la lumière zodiacale même pour les jours voisins. Je crois pour cette raison qu'il est impossible de déduire la position de la bande de la lumière zodiacale d'une façon exacte et cela est confirmé par la discordance complète qui se manifeste entre les résultats de Bayldon, Marchand et de Tupman.

Si la lumière zodiacale est, en effet, située sur un grand cercle qui traverse l'écliptique sous un certain angle, sa partie visible devrait être inclinée vers l'écliptique d'une façon différente suivant les saisons; son axe devrait être disposé tantôt du côté nord de l'écliptique, tantôt du côté sud, mais les observations de Heis, les seules qui me soient connues parmi celles effectuées pendant plusieurs années, ne montrent rien de semblable. J'ignore les détails des observations de Marchand et de Bayldon; mais, comme toutes les observations faites dans la zone tempérée, elles possèdent un grand défaut : elles ne sont pas corrigées pour l'influence de l'absorption atmosphérique.

Il n'est pas difficile de se faire une idée du caractère de cette influence. Sous nos latitudes le cône de la lumière zodiacale semble toujours incliné vers l'horizon; le bord sud de ce cône, étant situé plus bas, est soumis dans une plus grande mesure à l'absorption atmosphérique; l'axe de symétrie du cône, ainsi que la ligne de l'intensité maxima, s'en trouvent apparemment déplacés vers le Nord. Près de la base du cône, qui se trouve ordinairement tout près de l'horizon, cette absorption est très grande, mais elle diminue peu à peu vers son sommet et nous voyons que l'axe du cône se rapproche lentement de l'écliptique et la touche presque par son sommet.

Pour prendre en considération l'absorption atmosphérique, il est nécessaire de connaître la vraie distribution de l'intensité dans le cône de la lumière zodiacale de deux côtés de son axe; mais elle était absolument inconnue jusqu'à présent. Les observations simultanées de Heis et de Jones, faites dans des hémisphères différentes de notre globe terrestre, mettent l'importance de cette influence hors de doute (1). Elles montrent qu'ordinairement toutes les fois que Heis voyait l'axe de la lumière zodiacale au nord de l'écliptique, Jones, de son côté, le voyait au sud. Comme il est impossible de supposer des changements dans la position de la lumière zodiacale dans les intervalles de quelques heures séparant les

(1) SERPIERI, *La luce zodiacale*, p. 92.

moments des observations des deux savants, il faut admettre que cet effet était produit par l'influence signalée de l'absorption atmosphérique.

L'importance de ce facteur est admise par plusieurs astronomes. Le professeur Searle ⁽¹⁾ est tenté de considérer l'absorption atmosphérique comme l'unique cause des déplacements en latitude de la lumière zodiacale. Pour cette raison on devra donner la préférence aux observations faites près de l'équateur. Il est, cependant, à remarquer que ces dernières ne peuvent non plus être regardées comme sûres, parce que sous l'équateur l'écliptique change de position par rapport au cercle vertical à $23^{\circ},5$ dans l'un et dans l'autre sens, suivant les saisons, et de là peuvent provenir les erreurs systématiques dans la position observée de la lumière zodiacale.

Vu que l'absorption atmosphérique n'était pas prise en considération, on peut dire simplement que cette lueur coïncide approximativement avec l'écliptique.

Des résultats plus précis, à mon sens, peuvent être obtenus à l'aide d'observations de la lumière zodiacale faites simultanément dans l'hémisphère boréal et dans l'hémisphère austral, ou en introduisant les corrections systématiques de l'erreur signalée, ainsi que nous le verrons plus loin.

COLORATION DE LA LUMIÈRE ZODIACALE.

Nous sommes maintenant arrivé à une question exposée peut-être plus que toutes les autres aux erreurs personnelles de l'observateur. Quelle est la coloration de la lumière zodiacale ?

En 1707, Derham ⁽²⁾ a observé la coloration de cette lueur et il a conclu qu'elle est rougeâtre. Le 19 mars 1843, à 8^h du soir, et le 27 mars de la même année, Arago, ayant comparé la lumière zodiacale avec la queue de la fameuse comète 1843, lui a trouvé par rapport à cette dernière une teinte rougeâtre. Le 28, en comparaison avec la Voie lactée et la queue cométaire, elle semblait jaunâtre; le 29 elle était d'un aspect plus rouge.

Arcimis ⁽³⁾ donne des indications plus précises. La couleur de la lumière zodiacale paraît blanche à la distance de 30° - 40° de l'horizon; mais à une faible hauteur elle passait légèrement au jaune et même au rouge.

⁽¹⁾ *O.*, vol. VII, p. 265.

⁽²⁾ ARAGO, *La lumière zodiacale* (*Astronomie populaire*, t. IV).

⁽³⁾ *M. N.*, 1875, p. 48.

Gruey a également vu la lumière zodiacale comme une apparition blanche ⁽¹⁾. Selon Maunder ⁽²⁾, les parties les plus brillantes de cette lueur présentent une faible nuance dorée. Sous les tropiques ⁽³⁾, Liais la trouvait ordinairement blanche. A Henry Yale Childes ⁽⁴⁾, cette lumière a semblé jaune pâle.

E. Touchet remarque ⁽⁵⁾ que le 15 avril 1898 à Paris, vers 9^h 45^m du soir, la lumière zodiacale semblait être d'un rouge orangé. Il trouve que cette lueur paraît même plus rouge que celle qui provient de l'éclairage de Paris. D'après Honnorat ⁽⁶⁾, la couleur de la lumière zodiacale en 1900 était très voisine de la couleur de la Voie lactée. Elle est ordinairement grise, parfois, quand le ciel n'est pas tout à fait clair un peu jaunâtre. En 1902 il l'avait trouvée jaunâtre et très rarement bleuâtre. Il est intéressant de noter les observations de Hansky ⁽⁷⁾ effectuées au sommet du mont Blanc. La lumière zodiacale lui paraissait tout à fait blanche, même avec une tendance vers le vert, tandis que pour M. Beaudouin qui observait ce phénomène en même temps que Hansky, elle était légèrement teintée de jaune. Francis Mc Donall ⁽⁸⁾, en 1896, l'a vue avec une faible teinte bleue. Balmoir ⁽⁹⁾ a trouvé que le 29 juin 1896 la lumière zodiacale paraissait bleuâtre; le 7 août, blanche; le 9, encore bleuâtre et, le 13, rouge, probablement à cause de l'influence de l'atmosphère.

Les observations citées ne concordent pas du tout, comme nous le voyons. Mais ceci ne présente rien d'étonnant. La manifestation lumineuse du phénomène est trop faible pour qu'on y puisse distinguer une coloration déterminée. Il m'était arrivé d'observer l'intensité des diverses parties de la Voie lactée, en employant pour les comparaisons une source artificielle de lumière. Les deux surfaces, celle de la Voie lactée et la surface artificielle de comparaison, paraissaient tout à fait de la même couleur, quoique la lumière de la source fût transmise à travers un verre bleu. Mais la différence des colorations devenait marquée dès que j'augmentais l'intensité de la surface de comparaison.

De même, en observant la lumière zodiacale à l'aide d'un astrophotomètre, j'ai employé, pour affaiblir l'intensité de la lampe électrique, un verre rouge très foncé et, malgré cela, la moitié du champ du photomètre, qui était

(1) *C. R.*, t. LXXX, p. 903.

(2) *M. N.*, 1898, p. 301.

(3) LIAIS, *L'espace céleste*.

(4) *B. S. A. F.*, 1898, p. 405.

(5) *B. S. A. F.*, 1899, p. 119.

(6) *B. S. A. F.*, 1902, p. 57.

(7) *C. T.*, 26^e année, p. 67.

(8) *J. B. A. A.*, vol. VII, p. 144.

(9) *J. B. A. A.*, vol. VII, p. 144.

éclairée par la lumière de la lampe, et l'autre moitié, où je distinguais la lumière zodiacale, se confondaient en cercle homogène.

En général, je pense que la lumière zodiacale est trop faible pour qu'on y puisse distinguer avec assurance une coloration déterminée. Mais si l'observateur porte son attention vers les parties brillantes de cette lueur qui se trouvent près du Soleil, son jugement sera toujours influencé par la couleur rouge du crépuscule. Le jugement décisif à cet égard appartient au spectroscope.

RECHERCHES POLARISCOPIQUES SUR LA LUMIÈRE ZODIACALE.

Les premières recherches polariscopiques sur la lumière zodiacale sont dues à Arago (¹). Le 19 mars 1843, Arago et ses collaborateurs, Langier, Mauvais, Eugène Bouvard, Faye et Goujon ont observé ce phénomène à l'aide d'un polariscope sans y découvrir les moindres traces de polarisation ; il en fut de même pour la queue de la grande comète de 1843, visible en même temps. Les observations du 29 mars ont donné le même résultat. Arago croit que ce résultat négatif provient de la faiblesse de la lumière.

Cependant, plus tard, les observations exécutées très soigneusement par Liais en 1858 (²) font croire que cela ne résulte pas de la faible intensité de la lumière, mais d'une réelle absence de polarisation. Avec un polariscope chromatique, Liais, de même qu'Arago, ne pouvait distinguer aucune trace de polarisation dans les cônes du matin et du soir. Mais ayant eu soupçon que la faible intensité du phénomène pouvait empêcher de découvrir les marques de la polarisation, il eut recours au moyen suivant qui lui avait déjà servi plusieurs fois au cours de ses recherches de polarisation dans la lumière crépusculaire, alors que le polariscope chromatique cesse d'être applicable. Il employait un prisme de nicol ou une lame de tourmaline, qu'on peut tourner, en regardant à travers leurs substances un espace considérable du ciel. Liais fixait son attention sur les étoiles à la limite de visibilité. Si le fond du ciel est polarisé, son intensité doit changer sous l'influence de la rotation du nicol, ce qui fait que dans une position déterminée on distingue un plus grand nombre d'étoiles que dans la direction perpendiculaire. En observant de cette façon le cône oriental et le cône occidental, Liais ne pouvait découvrir les moindres traces de polarisation. Il a répété plusieurs fois de semblables observations en dirigeant le polariscope vers les parties les plus brillantes du cône, mais toujours sans résultat.

(¹) ARAGO, *Lumière zodiacale* (*Astronomie populaire*, t. IV).

(²) LIAIS, *Les observations des traces de la polarisation* (*L'espace céleste*).

« Je crois donc pouvoir affirmer, écrit-il, l'absence de polarisation dans la lumière zodiacale, même lorsqu'on la voit sous l'équateur dans sa plus grande intensité. »

Cette absence de polarisation n'est pas une simple apparence, ainsi qu'il résulte des observations de Liais sur la lumière réfléchie sur la surface de la mer.

« J'ai plusieurs fois vu la lumière zodiacale se réfléchir sur la mer et, pour me bien assurer que l'absence de polarisation ne provient pas de la difficulté par suite de la faiblesse de la lumière, j'ai examiné la polarisation de cette lumière réfléchie sur la surface de la mer. En regardant cette lueur avec la tourmaline, je la voyais parfaitement dans une situation et elle devenait à peu près imperceptible dans la direction rectangulaire de façon à reconnaître très nettement, comme cela devait être d'ailleurs, une polarisation dans un plan vertical. »

D'autre part, Ranyard (1) a été conduit à des résultats tout à fait différents.

Le soir du 19 décembre 1870, un détachement de l'expédition envoyée pour observer l'éclipse du Soleil s'arrêtant à Agosta a tourné son attention vers la lumière zodiacale qui était singulièrement brillante. La coloration était tout à fait blanche, semblable à celle de la Voie lactée.

Ranyard a employé pour ses observations le polariscope de Savart. En le dirigeant vers la lumière zodiacale il a remarqué les faibles bandes claires indiquant la polarisation dans le plan passant par le Soleil.

De même Burton, qui avait la vue plus perçante, a distingué quelques bandes brillantes quand il tournait le polariscope de façon que la direction des bandes passât par le Soleil. Le centre des bandes était sombre. Il a vu, de même, ces bandes normales dans la direction du Soleil, mais ne pouvait pas déterminer la nature de leur centre. Dans les autres parties du ciel, rien n'était visible.

La nuit suivante, la lumière zodiacale était plus faible. Le P. Secchi l'a observée avec le polariscope de Savart ; il a découvert quelques faibles bandes de polarisation, mais sans être convaincu de leur réalité.

La question reste donc ouverte. Pourtant, si nous admettons que la lumière zodiacale n'est pas polarisée, cela ne veut pas encore dire qu'elle n'est pas une lumière réfléchie. Il est connu que les nuages ne montrent aucune trace de polarisation et pourtant ils émettent de la lumière purement réfléchie.

Comment interpréter cette contradiction étrange entre les observations de Liais et de Ranyard qui paraissent être également dignes de confiance ? Peut-être la seule explication possible est que, dans les deux cas, la lumière zodiacale n'était pas de même nature, comme nous l'avons supposé implicitement. Nous

(1) A.-C. RANYARD, *On the zodiacal light* (*M. N.*, vol. XXXI, p. 171).

avons déjà montré la dépendance possible des élongations de la lumière zodiacale de la période undécennale du Soleil. Suivant les recherches de M. Nordmann ⁽¹⁾ qui semblent décisives, le Soleil émet plus de chaleur au temps d'un minimum des taches qu'au temps d'un maximum. Donc la température de la lumière zodiacale, si l'on regarde cette dernière comme composée de petites particules de poussière cosmique autour du Soleil, ne reste pas la même. Peut-être cette contradiction entre les observations polariscopiques montre que la lumière zodiacale émet en partie une lumière propre et en partie une lumière réfléchie, dont les proportions varient selon l'état du Soleil. Au moment du minimum des taches, c'est probablement la lumière propre qui prédomine, et alors l'observateur ne distingue plus aucune trace de polarisation ; au maximum, quand le Soleil émet moins de chaleur, la lumière réfléchie occupe le premier rang et offre les bandes de polarisation.

Les observations de Ranyard furent effectuées en 1870, c'est-à-dire juste à l'époque du maximum des taches, tandis que celles de Liais le furent trois ans après le minimum et celle d'Arago un an avant le minimum. Cela confirme, à ce qu'il me semble, mon point de vue, mais je ne veux pas insister là-dessus et je laisse la question ouverte jusqu'aux observations abondantes et systématiques de ce genre qui pourraient fournir une base solide pour la discussion.

RECHERCHES SPECTROSCOPIQUES SUR LA LUMIÈRE ZODIACALE.

Les premières observations spectroscopiques sur la lumière zodiacale furent faites par Liais. Il a trouvé son spectre tout à fait continu, les limites rouge et violette cessent d'être visibles à cause du manque d'intensité. Le spectre était si faible qu'il lui fut impossible de distinguer les raies sombres provenant de l'absorption atmosphérique ⁽²⁾.

Maxwell Hall, à l'Observatoire de Kempest, en Jamaïque (1000 pieds), avait fait des recherches spectroscopiques sur ce phénomène ⁽³⁾ pendant les nuits sans lune. Son spectroscopie avait un prisme de flint avec un angle de réfraction de 60°. Hall a trouvé que le spectre de la lumière zodiacale est continu et s'étend de la raie D à la raie G sans lignes claires ou noires qui eussent pu indiquer les particularités de sa nature.

⁽¹⁾ C. NORDMANN, *Essai sur le rôle des ondes hertziennes en astronomie physique*.

⁽²⁾ LIAIS, *L'espace céleste*.

⁽³⁾ M. HALL, *The spectrum of the zodiacal light* (O., vol. XIII, p. 77).

A la distance de 50° du Soleil, le spectre était visible de $\lambda 561$ à $\lambda 431$. Il commençait brusquement au bout rouge du spectre et s'affaiblissait peu à peu vers le violet ; à la distance de 22° du Soleil il commençait à $\lambda 561$, mais plus graduellement ; à $\lambda 517$ il avait un faible maximum et il se terminait à $\lambda 797$. Ensuite, à la distance de 15° , la lumière crépusculaire s'entremêlant à la lumière zodiacale donnait un spectre qui commençait aussi à $\lambda 561$, avait un fort maximum en $\lambda 517$ pour disparaître à $\lambda 497$.

Hall remarque que le spectre de la lumière zodiacale à une distance de 22° et de 15° du Soleil est semblable à celui de la flamme d'alcool.

Des résultats absolument identiques furent obtenus à Palerme en 1872 par le professeur PIAZZI-SMYTH ⁽¹⁾. Ses observations étaient effectuées au moyen du spectroscopie « faint-light » de l'Observatoire d'Édimbourg. La fente étroite ne permettait pas de percevoir des traces de lumière. La fente large donnait au champ du spectroscopie un faible rayonnement, un spectre court et continu, s'étendant de $\lambda 555$ jusqu'à $\lambda 500$. Ce spectre était tellement faible qu'on ne pouvait le voir que lorsque le fond du champ était complètement sombre. La fente très large permettait de voir le spectre continu avec une intensité plus grande que le précédent qui s'étendait de $\lambda 560$ à $\lambda 492$; cependant, ce spectre lui-même était trop faible pour se prêter à l'emploi d'un spectre de comparaison. PIAZZI a trouvé, comme particularité du spectre de la lumière zodiacale, que sa partie rouge était plus intense que la partie plus réfractée. Le maximum d'intensité se trouvait dans le vert près de $\lambda 535$. Le spectre commençait assez brusquement au rouge et s'affaiblissait d'une façon lente vers le violet. Le spectre du crépuscule présente une grande analogie avec celui de la lumière zodiacale ; observé avec une fente fine il possède les mêmes limites. Pourtant, à en juger d'après les diagrammes de l'article de PIAZZI-SMYTH, il commence plus brusquement dans le rouge et s'affaiblit plus lentement vers le violet. En se basant sur ces recherches, PIAZZI estime que le spectre de la lumière zodiacale est tout à fait semblable à ceux des étoiles ou au spectre affaibli du Soleil.

Tacchini, lui aussi, trouvait toujours le spectre de la lumière zodiacale absolument continu ⁽²⁾. C'est en 1874 que Wright commença ses observations spectroscopiques qui ont confirmé les résultats précédents. L'étude de la courbe d'intensité dans le spectre de la lumière zodiacale et dans celui du crépuscule a montré que le maximum d'intensité du premier, comme nous venons déjà de le voir, est plus près de l'extrémité violette.

(1) PIAZZI-SMYTH, *Spectroscopic observations of the zodiacal light* (*M. N.*, 1872, p. 277).

(2) SALET, *Spectroscopie astronomique*, p. 316.

M. Salet ⁽¹⁾ pense que dans ce cas le phénomène de Purkinge peut exercer quelque influence. On sait que deux objets colorés donnant la même impression de couleur commencent à prendre des couleurs diverses si leur intensité diminue, l'objet plus faible semblant un peu bleuâtre en comparaison avec l'autre. Mais cette supposition est peu probable, parce que P. Smyth voyait toujours le maximum dans le spectre de la lumière zodiacale plus près de l'extrémité violette que dans celui du crépuscule ; ceci même dans le cas où l'on changeait la largeur de la fente, de manière à donner aux deux spectres la même intensité. Il faut admettre que le spectre de la lumière zodiacale est le véritable spectre solaire, tandis que celui du crépuscule est trop affecté par l'absorption atmosphérique. Ensuite, le P. Secchi ⁽²⁾ voyait aussi le spectre de la lumière zodiacale continu.

Il est intéressant de noter maintenant l'application de la photographie à ces recherches. Michel Smyth ⁽³⁾, en 1883, a fait la première tentative de photographier le spectre de la lumière zodiacale, mais sans aucun résultat appréciable.

En 1907, à l'Observatoire Lick, à l'aide d'un instrument spécialement approprié à ce but, on faisait des clichés du spectre de la lumière zodiacale quelques nuits consécutives ; les poses étaient de 6 heures en août et de 11 heures en octobre. Les recherches ont montré que le spectre du phénomène est complètement continu sans raie brillante ou sombre, excepté les raies telluriques produites par l'atmosphère terrestre. Parmi ces dernières, la présence des raies $\lambda 430$ et $\lambda 395$ était suspectée. En 1908, les épreuves ont démontré qu'une présence près de l'horizon de Jupiter ou de Vénus est suffisante pour que le spectre véritable de la lumière zodiacale cesse d'être perceptible. Plus récemment, entre le 12 et le 25 septembre 1903, au mont Wilson, le Dr Fath, employant le même instrument avec une pose de 12 heures, a trouvé deux raies sombres bien marquées ; c'étaient les raies G et dans la partie violette les raies H et K. Il y a lieu de conclure de ces recherches que la lumière zodiacale est une lumière solaire réfléchie purement et simplement.

Mais il existe quelques observations qui ont donné des résultats tout différents ; ces résultats ont produit d'abord une grande confusion dans nos idées sur la nature de la lumière zodiacale.

Ainsi, Angström ⁽⁴⁾, professeur à l'Université d'Upsala, se basant sur les

⁽¹⁾ SALET, *Spectroscopie astronomique*, p. 316.

⁽²⁾ C. R., t. LXXV, p. 314.

⁽³⁾ J. B. A. A., vol. XX, 1910, p. 281.

⁽⁴⁾ HENKEL, *La lumière zodiacale* (*Scientia*, vol. XII, 1912).

observations spectroscopiques de mars 1867, a conclu que la lumière zodiacale présente les mêmes raies que l'aurore boréale. La raie la plus intense dans le spectre de l'aurore boréale occupe la position 1474 dans l'échelle de Kirchhoff, c'est-à-dire se trouve dans le vert. Cependant ces observations possédaient quelque ambiguïté, étant donnée la fréquence des aurores boréales sous la latitude d'Upsala. Il est probable qu'au moment des observations d'Angström, l'aurore boréale se trouvait déjà dans le ciel et se joignait à la lumière zodiacale.

Cette supposition paraît d'autant plus admissible que, comme le remarque Angström, pendant les jours d'observations, la lumière zodiacale lui paraissait d'une intensité extraordinaire en comparaison à l'intensité qu'elle avait habituellement à Upsala. Mais le témoignage de Liais transforme cette supposition en certitude. Cet astronome avait observé la lumière zodiacale sous les tropiques le même soir qu'Angström, mais sans remarquer de recrudescence dans sa clarté.

« A cette même époque, écrit-il (1), j'étais en mer où j'observais la lumière zodiacale toutes les soirées dans la zone torride et je puis affirmer qu'en ce temps elle a possédé seulement l'éclat habituel. Il me paraît donc évident que c'est à un rayon vague d'aurore boréale se projetant dans la région de la lumière zodiacale qu'il faut attribuer et l'éclat et les raies spectrales notés par M. Angström, car le spectre de cette lumière est toujours parfaitement continu. »

Quelque chose de semblable nous est révélé par les observations à Cadix, de Señor A.-T. Arcimis en 1875 (2). Déjà avec un spectroscopie de poche il pouvait découvrir dans les parties basses de la lumière zodiacale un spectre continu et une raie verte ou jaune. Il voyait aussi le même spectre dans les autres parties du ciel, mais surtout à l'Est où la raie jaune devenait plus diffuse. Il lui était, en outre, possible d'apercevoir une faible recrudescence du spectre près de la raie F du spectre solaire.

A l'aide d'un réfracteur muni du spectroscopie de Hoffmann à cinq prismes, il a remarqué que le renforcement d'intensité dans la partie bleue du spectre consistait dans une raie plus réfractée que la raie F. Cette faible raie était observée seulement dans la partie inférieure du cône ; à la distance de 30°-40° du Soleil elle devenait déjà invisible, mais le spectre continu subsistait encore. Arcimis a déterminé la position de ces raies, en comparant le spectre de la lumière zodiacale avec celui de l'oxygène dans un tube de Geissler.

Dans l'échelle de Kirchhoff, ces raies occupaient la position I (1480) et

(1) LIAIS, *L'espace céleste*.

(2) ARCIMIS, *Observations of the zodiacal light at Cadix* (*M. N.*, 1875, p. 48).

II(2270) (1). Arcimis avait fait ses observations pendant quelques semaines, mais toujours avec le même résultat. Il considère comme probable que la raie 1480 coïncide avec la raie de l'aurore polaire dont la position dans la même échelle est 1474. Selon son avis, la position de l'autre raie serait inexacte, mais son existence certaine. Ces observations contiennent un point douteux, parce que la raie découverte par Arcimis était visible dans tout le ciel et surtout à l'Est, quoique, au moment des observations, la lumière zodiacale n'y fût pas visible. Il est évident que ce spectre ne se rapporte pas à la lumière zodiacale, mais qu'il constitue une particularité générale de la lumière diffuse répandue sur la voûte céleste durant la période des observations et n'étant peut-être pas complètement étrangère à l'aurore polaire.

Mentionnons encore les observations de Respighi qui, elles aussi, étaient citées à l'appui de l'opinion que la nature de la lumière zodiacale a certains points en commun avec l'aurore boréale. Le soir du 11 janvier 1872, près de la mer Rouge, Respighi a analysé la lumière zodiacale à l'aide d'un spectroscope de Hoffmann à vision directe (2). Il a retrouvé la raie verte d'Angström qui lui semblait séparée du reste du spectre par une bande sombre. Lockyer, se trouvant aussi au même endroit, confirmait entièrement cette observation.

Le soir du 11 janvier, à 8^h environ, c'est-à-dire 2 heures après le coucher du Soleil, la raie verte semblait bien distincte près de l'axe du cône, de même qu'à ses parties Est et Ouest. Respighi avait fait auparavant des observations aux Indes orientales, sans remarquer cette raie, mais il avoue n'avoir pas pris les précautions nécessaires pour se mettre à l'abri des influences de la lumière étrangère. Le 4 février, il a observé l'aurore boréale et a remarqué la raie en question et plusieurs autres moins marquées. Le lendemain, après avoir dirigé son spectroscope vers la lumière zodiacale, il a retrouvé de nouveau cette raie brillante sur le fond du spectre continu ; dans toutes les autres parties du ciel, on pouvait voir aussi ce spectre caractéristique de l'aurore. En même temps, le Dr Di Legge voyait de même ce spectre dans toutes les régions du ciel. Respighi ajoute que les observations étaient faites à 7^h-8^h du soir, environ, et qu'à 10^h du soir il ne pouvait remarquer aucune trace de ce spectre.

Ces observations ne sont pas plus convaincantes que celles d'Arcimis, parce que la raie de l'aurore polaire était visible, selon Respighi, sur la voûte entière du ciel et l'observateur ne dit pas si elle semblait pour le moins plus claire dans le cône de la lumière zodiacale.

(1) Dans cette échelle, les raies connues du spectre solaire ont les positions : A, 405; C, 694; D, 1004; E, 1523.

(2) RESPIGHI, *Sur l'analyse spectrale de la lumière zodiacale* (C. R., t. LXXIV, p. 514).

Des résultats semblables furent obtenus par M. Vogel ⁽¹⁾. Cet habile observateur examinait la lumière zodiacale les 4, 5 et 6 mars 1872 à l'aide d'un spectroscopie de poche Browning. Le spectre était continu comme d'habitude, montrant le maximum d'intensité dans le vert. Cependant ce spectroscopie a déjà montré une raie brillante. A l'aide d'un grand appareil spectroscopique, Vogel a pu déterminer exactement la position de cette raie. Comme les observateurs précédents il l'a identifiée avec la raie caractéristique de l'aurore boréale. Mais sur ces observations, comme dans la plupart des autres que nous venons de citer, on peut faire toujours la même remarque : quand la lumière zodiacale montre une raie de l'aurore, cette raie est visible en même temps partout dans le ciel. En général, le spectroscopie donne les indications plus précises que l'œil de l'observateur sur la présence des aurores polaires, parce que la raie des aurores est visible distinctement, non seulement quand l'aurore est très faible, mais aussi quand il n'y a pas d'aurore au moins perceptible.

Que cette raie n'a rien de commun avec la lumière zodiacale, cela est prouvé suffisamment par le fait que ce phénomène présente ordinairement un spectre continu sans aucune raie brillante. Les observations sur la montagne de Hamilton à l'Observatoire Lick ont montré que cette raie ne paraissait pas plus brillante quand on dirigeait le spectroscopie vers la partie la plus intense de la lumière zodiacale.

Nous devons conclure de toute cette discussion que la lumière zodiacale réfléchit la lumière du Soleil, mais il est possible qu'elle émet aussi en certain degré sa propre lumière ; qu'elle n'a rien de commun avec les aurores polaires ; qu'elle n'est pas due, en général, à la matière incandescente gazeuse qui devrait présenter le spectre discontinu avec les raies brillantes. Quant à la couleur de la lumière zodiacale, elle ne diffère pas beaucoup de la couleur blanche, de la couleur du Soleil. Enfin les observations signalées montrent que les particules qui réfléchissent la lumière du Soleil, produisant le phénomène en question, ne peuvent être très petites. D'une façon plus précise, elles doivent dépasser considérablement les dimensions de la poussière atmosphérique qui, selon les expériences de Tyndall, produit une diffraction sensible de la lumière. En effet, dans le cas contraire, le maximum d'intensité dans le spectre de la lumière zodiacale serait situé près de l'extrémité violette.

(1) VOGEL, *Ueber das Spectrum des Zodiacallichtes* (A. N., Bd. LXXIX, p. 327).

RECHERCHES THERMIQUES SUR LA LUMIÈRE ZODIACALE.

Exposons maintenant en quelques mots les recherches thermiques sur la lumière zodiacale dues à Ad. Matthiessen en 1843 ⁽¹⁾. Ces recherches sont très intéressantes parce qu'elles donnent lieu à penser que la matière de la lumière zodiacale possède une température assez élevée qui probablement surpasse la température de l'eau bouillante. Malheureusement, à ma connaissance, personne après Matthiessen n'a obtenu de semblables résultats, de sorte que ceux-ci restent soumis à tous les doutes auxquels sont exposées toutes les recherches d'un seul observateur.

Ad. Matthiessen employait d'abord un miroir concave bien poli, dans le foyer duquel était placé un thermomètre à air très sensible. Le 27 mars, à 8^h du soir, ce thermomètre montrait l'augmentation de la température quand l'axe du miroir se dirigeait vers la lumière zodiacale. Le soir suivant, Matthiessen a employé une pile thermo-électrique de Ruhmkorff consistant en 25 paires d'éléments. Les observations étaient effectuées aux environs de Paris, près du Bois de Boulogne. A la distance de 250^m à 300^m de la place d'observation, le sol était couvert d'herbe ; seulement à la distance de 800^m se trouvait une petite maison.

L'aiguille du galvanomètre, raconte Matthiessen, restait au zéro de l'échelle quand le cône condensateur était dirigé vers l'étoile polaire. En le tournant vers la queue de la comète qui se trouvait au-dessous de la constellation d'Orion, l'aiguille continuait à rester au zéro. Mais le noyau de la comète indiquait une légère augmentation de la température : l'écartement de l'aiguille atteignait 2°. Après avoir dirigé la pile thermo-électrique vers la lumière zodiacale, l'observateur trouvait successivement : 10° d'écartement au-dessous des Pléiades, 12° à la base de la lumière zodiacale et 5° au-dessus du point où le Soleil s'était couché, quoique l'atmosphère à ce point fût chauffée plus que dans ses autres parties. A 9^h du soir l'observateur a obtenu le même résultat pour la comète ; au-dessous des Pléiades, la lumière zodiacale indiquait 8°, sa base — 12° et le point au-dessus du coucher du Soleil — 3°. A 9^h 30^m il a obtenu successivement 7°, 10° et 2° et même résultat pour la comète. Pour qu'on puisse juger la sensibilité de l'appareil, il suffit de rapporter l'expérience suivante : la main de l'observateur, placée sur l'herbe humide et par conséquent assez froide à la distance de 1^m de

(1) MATTHIESSEN, *Expériences thermométriques faites sur la lumière zodiacale* (C. R., t. XVI, p. 686).

l'appareil inclinait l'aiguille si fortement que celle-ci venait buter contre la pointe sur 90° de l'échelle du galvanomètre. Les ondes aériennes de température différente troublaient les observations d'une façon considérable en inclinant irrégulièrement l'aiguille ; mais, malgré ces perturbations, Matthiessen recevait toujours les mêmes résultats quoiqu'il répétât ces observations 40 fois à peu près. Quand il dirigeait le cône condensateur vers les autres parties du ciel, l'aiguille du galvanomètre n'était soumise à aucun écartement quoiqu'il fallût attendre que l'atmosphère chauffée par le Soleil émit une quantité considérable de chaleur. La partie occidentale de la lumière zodiacale est visible à travers une partie de l'atmosphère qui est chauffée plus que les autres. Par conséquent, il est certain qu'au moins une partie de l'écartement de l'aiguille est due à l'atmosphère. Pour résoudre cette question, Matthiessen a opéré de la façon suivante : on sait que le flint laisse passer $\frac{3}{4}$ de rayons de chaleur de la source à haute température, mais il absorbe presque entièrement les rayons provenant de la source dont la température est plus basse que celle de l'eau bouillante. C'est la propriété générale du verre, mais le flint le possède au plus haut degré. Une grande lentille à 56^{cm} de diamètre, faite en flint très réfringent avec une distance focale très courte, remplaçant le cône condensateur, réunissait les rayons de chaleur sur la pile thermo-électrique. Avec ce moyen auxiliaire la partie centrale de la lumière zodiacale a produit 4° d'écartement de l'aiguille ; sa partie au-dessous des Pléiades — 2° , mais le point au-dessus du coucher du Soleil a donné justement 0° . Le rayonnement des couches atmosphériques chauffées par le Soleil était éteint par le flint-glass, mais la lumière zodiacale continuait à influencer l'aiguille du galvanomètre d'une manière sensible. Ne devons-nous pas en conclure que la lumière zodiacale possède une température assez élevée dépassant peut-être de beaucoup celle de l'eau bouillante ?

ÉPREUVES PHOTOGRAPHIQUES SUR LA LUMIÈRE ZODIACALE.

Malgré la faiblesse extrême de la lumière zodiacale, on réussit à obtenir une série de clichés satisfaisants de ce phénomène. Les premières photographies furent exécutées dans l'Arizona, à l'Observatoire de P. Lowell, par les astronomes Douglass et Cogschall ⁽¹⁾, en octobre 1899. Ces photographies ont couronné une longue suite de tentatives. Douglass employait l'objectif particuliè-

(1) A.-E. DOUGLASS, *Photographs of the zodiacal light* (*P. A.*, 1900, p. 174).

rement lumineux de 23^{mm} de diamètre et de 45^{mm},7 de distance focale fait spécialement dans ce but par Clark.

En février 1901 Douglass a entrepris de nouveau avec le même objectif des épreuves photographiques sur la lumière zodiacale ⁽¹⁾. Il a fait trois poses de 75 minutes, 15 minutes et 30 secondes. L'appareil suivait la lumière zodiacale grâce à un mouvement d'horlogerie. La première photographie montre un cône bien marqué entouré d'une faible lumière. On peut remarquer sur les photographies les étoiles principales de la constellation des Poissons. Mais le dernier cliché ne montre que la lumière diffuse parce que la partie principale du phénomène était déjà couchée. En 1903, à l'Observatoire de Flammarion à Juvisy, après de vaines épreuves en 1901, M. Quenisset ⁽²⁾ réussit à prendre quelques photographies de la lumière zodiacale en employant l'objectif de 10^{cm} de diamètre, à moitié diaphragmé et possédant une distance focale de 7^{cm},5. Le 26 février, avec une pose de 8 minutes, il a obtenu l'image de la lumière zodiacale s'étendant de l'horizon jusqu'à la constellation du Bélier. Les photographies obtenues jusqu'à présent permettent de voir que le sommet du cône de la lumière zodiacale semble beaucoup plus arrondi que ne le montrent les dessins visuels. Parfois les clichés représentent la lumière zodiacale sous l'aspect d'une tache ovale limitée supérieurement à cause de sa faiblesse, étant donnée sa distance considérable du Soleil, et inférieurement à cause de l'influence particulièrement grande de l'absorption atmosphérique sur les rayons chimiques. Son axe, lieu du maximum d'intensité, paraît tout à fait indéterminé. Toute la partie centrale de l'image photographique semble de la même intensité. En outre, la photographie montre que, quand le cône de la lumière zodiacale est incliné vers l'horizon, son intensité décroît dans sa partie inférieure plus vite que dans la partie supérieure. Cette apparence, manifestant l'effet de l'absorption atmosphérique, est plus marquée que dans les observations visuelles.

L'application de la photographie au nouveau domaine qui est à peine ouvert aux observations visuelles peut considérablement avancer nos connaissances de la nature de la lumière zodiacale. Si les clichés photographiques, qui ne demandent que quelques minutes de pose, pouvaient être pris d'une façon systématique d'une année à l'autre dans diverses localités, ils donneraient la possibilité de faire de précieuses recherches sur les changements de position de forme et

(1) DOUGLASS, *Photographs of the zodiacal light* (*P. A. S. P.*, vol. XIII, 1901, p. 87).

(2) QUENISSET, *La lumière zodiacale (essais photographiques)* (*B. S. A. F.*, 1900, p. 181); *Photographie de la lumière zodiacale* (*B. S. A. F.*, 1904, p. 36).

d'éclat de la lumière zodiacale, changements indépendants des erreurs personnelles de l'observateur.

CONTRE-LUEUR OU « GEGENSCH EIN ».

Je vais exposer maintenant ce que nous savons au sujet du phénomène mystérieux appelé *contre-lueur* ou, suivant les observateurs allemands, *Gegenschein*.

En somme, c'est une lueur excessivement faible qui se montre dans le ciel du côté directement opposé au Soleil. Pour quelques observateurs elle fait partie de la bande ordinaire de la lumière zodiacale dont elle présente un renforcement, une recrudescence de clarté. D'autres l'envisagent comme un phénomène indépendant de la lumière zodiacale, se trouvant, toutefois, dans le plan de l'écliptique.

Le premier observateur qui ait vu le « *Gegenschein* » en 1799-1803 était l'éminent savant A. Humboldt qui, pendant ses longs voyages sur les côtes d'Amérique et sur les vastes plateaux du Brésil, se trouvait dans les meilleures conditions pour observer cette faible lumière ⁽¹⁾. Mais c'est à Brorsen que nous devons les premières observations systématiques ; c'est lui qui en 1850 a découvert cette lueur indépendamment de Humboldt ⁽²⁾. Le 4 juillet 1858 Liais a observé la lumière zodiacale et la contre-lueur à 14°, 30 de latitude nord et à 28° de longitude ouest de Paris. Pendant ses observations la lumière zodiacale s'était couchée et les parties les plus brillantes de la contre-lueur étaient devenues plus intenses que celles de la lumière zodiacale. D'où Liais a conclu que ce phénomène ne présente pas une simple réflexion de la lumière zodiacale de l'Ouest, comme certaines personnes l'avaient pensé, mais que c'est un phénomène réel. En général, il n'est pas difficile de voir la contre-lueur dans les régions tropicales. Bayldon, dont nous avons déjà cité plusieurs fois le nom, dit que la partie de la lumière zodiacale directement opposée au Soleil est un peu plus brillante que les parties environnantes ; qu'elle a la forme elliptique de 15° à peu près de diamètre et, comme il lui semblait, sa position oscille légèrement à l'ouest et à l'est de l'anti-Soleil. J. Schmidt ⁽⁴⁾, l'ancien directeur de l'Observatoire d'Athènes, a fait une longue série d'observations. Il écrit que, pour distinguer le *Gegenschein*, il faut avoir un ciel extrêmement pur et dépourvu de

(1) SCHMIDT, *Ueber den sogenarnten Gegenschein* (A. N., n° 1726, p. 337).

(2) BRORSEN, *Ueber die ringförmige Gestalt des Zodiacallichtes* (A. N., n° 1166).

(3) LIAIS, *Observations en mer sur la lumière zodiacale* (L'espace céleste).

(4) SCHMIDT, *Ueber den sogenannten Gegenschein des Zodiacallichtes* (A. N., n° 1726, p. 337).

toute influence de lumière étrangère. De ses 40 observations qui se rapportent à la période de 1867 à 1868 et des 5 observations de Brorsen (1854-1857), il déduisit que la contre-lueur ne coïncide pas exactement avec l'anti-Soleil, mais occupe par rapport à celui-ci des positions très voisines variant avec les saisons.

De son côté, M. Quenisset ⁽¹⁾ a trouvé quelque chose de contradictoire dans les conditions de meilleure visibilité de ce phénomène. Il dit que le Gegenschein est mieux observable, si les constellations où il se trouve paraissent être le plus haut sur la voûte céleste. Mais, d'autre part, il paraît avoir constaté qu'une atmosphère moins pure facilite les observations de cette apparition, contrairement à ce qui a lieu pour la lumière zodiacale.

Le 2 février 1903, écrit-il, à 23^h55^m, elle était encore mieux visible que le 31 janvier, et cependant l'atmosphère était moins pure. » Si ce fait est vrai, il est évident qu'il a la plus grande importance pour la théorie de ce mystérieux phénomène. Le 31 janvier à 23^h, le Gegenschein avait la forme d'une ellipse très allongée située entre Regulus d'une part et l'amas de Cancer de l'autre, mais plus près de ce dernier. Son éclat était inférieur à celui de la Voie lactée, entre Bételgueuse et γ des Gémeaux. Le bord austral de la lueur, remarque Quenisset, paraissait plus net que la limite boréale, ce qui se rencontre la plupart du temps dans la lumière zodiacale sous nos latitudes. Le 20 février, à 1^h15^m, la contre-lueur paraissait tout simplement comme une recrudescence de la lumière zodiacale dans la partie du ciel opposée au Soleil. Elle a l'aspect d'une traînée assez longue, ayant pour limites à l'Ouest l'étoile δ du Cancer et à l'Est l'étoile σ du Lion ; sa largeur était de 10° à 22°. La partie la plus brillante de la contre-lueur avait un éclat de moitié moindre que celui de la Voie lactée entre Bételgueuse et γ des Gémeaux. D'autre part, les astronomes de l'Observatoire du Transvaal ⁽²⁾ ont pu observer la contre-lueur en septembre et en octobre 1910. Suivant M. Worsell, le 4 octobre 1910, à 9^h40^m du soir, ses limites étaient 17°,5 au Nord et — 4°,5 au Sud ; 0^h5^m à l'Ouest et 1^h20^m à l'Est ; la position du centre était 0^h32^m et 5°,5 ou, en coordonnées écliptiques, $\lambda = 9°,5$ et $\beta = 1°,9$. Nous voyons que la lueur paraissait tout près de l'écliptique et que, même pour cette station de l'hémisphère austral, elle avait une latitude nettement boréale.

Backhouse ⁽³⁾ a observé le Gegenschein pendant plusieurs années, à savoir de 1871 à 1895. Presque toutes ses observations ont été faites à Sunderland.

(1) QUENISSET, *Observations du Gegenschein* (B. S. A. F., 1903, p. 173).

(2) *Lumière zodiacale et Gegenschein* (B. S. A. F., 1911, p. 225).

(3) *The zodiacal light. The Counter glow and its position* (P. W. H. O., n° II).

Backhouse se bornait à observer la position du centre de la contre-lueur sans noter ni son intensité ni ses dimensions. Ses observations donnent, pour la distance moyenne du centre de la contre-lueur au Soleil, $179^{\circ},42$, et pour la latitude moyenne, $+0^{\circ},75$, ceci en tenant compte des poids respectifs.

L'observateur en question ayant soupçonné la variation de position de la contre-lueur dans les diverses saisons de l'année, c'est-à-dire suivant la longitude du Soleil, a construit des courbes donnant la longitude et la latitude de la contre-lueur pour chaque 10° de longitude du Soleil. On peut voir que la position de la contre-lueur change considérablement (de $177^{\circ},5$ à 181° en longitude et de $-0^{\circ},7$ à $2^{\circ},5$ en latitude). Mais ces variations, les variations en longitude surtout, sont si compliquées, si irrégulières qu'elles ne permettent pas d'en déduire aucune loi simple.

Il est très probable, en général, que la lumière zodiacale ne coïncide pas exactement avec le plan de l'écliptique. On pourrait déduire la position du grand cercle, le long duquel est situé l'axe de la lumière zodiacale, en considérant les latitudes respectives de la contre-lueur. Mais, en réalité, cela ne paraît point possible. Les observations de Backhouse donnent, par exemple, pour $\odot = 180^{\circ}$ ($\odot$ étant la longitude du Soleil) et $\odot = 360^{\circ}$ presque les mêmes valeurs pour la latitude de la contre-lueur, comme il fallait s'y attendre, si la contre-lueur décrivait pendant l'année un cercle; mais pour $\odot = 230$ et $\odot = 30^{\circ}$, les autres valeurs sont également presque identiques, ce qui est contraire à l'hypothèse du grand cercle. En traçant le chemin du centre de ce phénomène autour de l'anti-Soleil pendant une année, j'ai obtenu une courbe extrêmement irrégulière et compliquée qui ne permet de concevoir aucune périodicité.

On peut toujours douter de l'exactitude des résultats de Backhouse, la correction pour l'absorption atmosphérique n'étant pas prise en considération. La vérification de la latitude déduite de ces observations qui toutes appartiennent à l'hémisphère boréal n'est possible qu'après la comparaison avec une série d'observations faites dans l'hémisphère austral. Nous pouvons cependant nous rendre compte de l'exactitude de la première coordonnée. En effet, l'influence de l'absorption atmosphérique pour les observations faites avant minuit doit être contraire à celle déduite des observations faites après minuit. Donc, en déduisant séparément la position moyenne du centre de la contre-lueur à l'aide d'observations effectuées avant ou après minuit, nous révélerons de suite l'effet probable de l'absorption atmosphérique. Il est évident que la distance $d - \odot$ du Gegenschein au Soleil, déduite des observations avant minuit, doit être moindre que la valeur réelle et qu'au contraire les observations après minuit donneront une valeur supérieure. Pour mettre bien en évidence l'effet de

l'absorption atmosphérique, je n'ai pris en considération que les observations faites avant 11^h pour le premier groupe et après 13^h pour le second. Dans le premier cas, ayant égard aux poids respectifs des observations, j'ai obtenu :

$$\lambda - \odot = 178^{\circ},78 \quad (\text{résultat de 64 observations pour } 10^h, 1);$$

dans le second,

$$\lambda - \odot = 180^{\circ},01 \quad (\text{résultat de 24 observations pour } 14^h, 1).$$

Cette différence, très notable entre les deux nombres qui sans le moindre doute est due à la cause signalée, montre toute l'importance de la correction pour l'absorption atmosphérique. Elle nous fait voir, d'une façon évidente, que nous ne pouvons espérer d'obtenir jamais la position exacte de la contre-lueur sans avoir égard à cette correction ; elle prouve de plus que toute détermination précise de la position de la lumière zodiacale est du domaine de l'imagination et que les divergences entre les résultats de divers observateurs étaient dues principalement à l'influence toujours variable de l'absorption atmosphérique.

En somme, nous ne pouvons rien conclure sur la latitude de la contre-lueur. Les observations de l'hémisphère austral peuvent seules résoudre cette question. Mais il est clair que le centre de cette lueur a une longitude un peu plus faible que l'anti-Soleil. En moyenne, des deux valeurs que je viens de signaler, il résulte que $\lambda - \odot = 197^{\circ},4$, quantité identique à celle donnée par Backhouse et, probablement, n'est pas trop éloignée de la vérité.

Les observations les plus précieuses, l'étude la plus instructive de la contre-lueur, ont été faites par M. Barnard ⁽¹⁾ à l'Observatoire Lick à partir de 1883, lorsque, indépendamment de Brorsen, il a découvert ce phénomène. Il a observé ordinairement le Gegenschein à l'aide d'un chercheur de comètes. La contre-lueur lui a d'abord paru comme une masse lumineuse assez arrondie avec faible accroissement d'intensité au centre. Les observations pendant les nuits suivantes lui ont dévoilé que la contre-lueur possède par rapport aux étoiles un lent mouvement vers l'Est, tout en restant dans le plan de l'écliptique. Ce mouvement est en tout point semblable à celui du Soleil et, comme ce dernier, possède la vitesse de 1° par jour environ.

Les premières observations de Barnard faites à Nashville Tennessee (600 pieds d'altitude) lui ont montré que la longitude de la contre-lueur diffère de celle du Soleil d'environ 180°. Après avoir passé le point de l'équinoxe du printemps à

(1) BARNARD, *Observations of the zodiacal Counter-glow* (*A. J.*, n° 168, p. 168).

la fin du mois de septembre, elle commence à changer de forme ; la faible bande zodiacale apparaît ; elle s'étend à une certaine distance des deux côtés du Gegenschein et celui-ci prend peu à peu la forme allongée qui ressemble beaucoup à l'ellipse. Ensuite la forme du Gegenschein s'aplatit et la bande devient encore plus visible, pour s'unir enfin à l'Est et à l'Ouest avec la lumière zodiacale et former ainsi un anneau complet.

Le professeur Searle confirme ces changements de forme de la contre-lueur par ses observations en automne 1886.

Le 29 octobre 1883, le professeur Barnard a vu la contre-lueur d'un diamètre de 15° ; la largeur de la bande qui en émanait était de $4^\circ-5^\circ$. Le 10 novembre 1884 elle lui parut de forme elliptique, le rapport des axes étant $\frac{1}{2}$.

Le 15 octobre 1885, la contre-lueur avait 25° de long et $10^\circ-15^\circ$ de large, et en 1885, le 23 novembre, 12° de long et 5° de large.

Les observations des années suivantes ont été faites par Barnard ⁽¹⁾ dans les meilleures conditions sur la montagne de Hamilton, à la hauteur de 4200 pieds. Ces observations ont confirmé les résultats précédents. Le changement de forme de la contre-lueur commence quand elle a passé 0^h de longitude. En juin et en décembre le Gegenschein n'est pas visible, parce qu'il croise pendant ce temps la Voie lactée. Il se trouve sensiblement près de l'écliptique, avec une latitude plutôt boréale.

Les recherches suivantes ont montré, d'accord avec Backhouse, qu'il existe une faible oscillation de longitude du Gegenschein autour de la valeur $\odot + 180^\circ$. La différence $\odot - \lambda$ n'est pas constante, mais tend à descendre au-dessous de $\odot + 180^\circ$, ce qui confirme les résultats de Schmidt et de Backhouse.

En résumé, à l'aide de toutes les observations de Barnard de 1883 à 1897 ⁽²⁾, nous voyons bien que les changements du Gegenschein ont une période annuelle. En juin, le Gegenschein paraît petit et arrondi, ayant un diamètre de 10° . Jusqu'à l'intersection avec la Voie lactée dans le Scorpion et le Sagittaire, il grandit peu à peu et se transforme ensuite en un grand cercle de 20° de diamètre, plus brillant au centre, assez épais et diffus. Pendant ce mois il est impossible de distinguer sa jonction avec la base zodiacale. Il garde cet aspect jusqu'au mois de septembre ou au commencement d'octobre, c'est-à-dire jusqu'à son approche du point de l'équinoxe du printemps. Après avoir passé ce point, il devient plus allongé et s'unit à la bande zodiacale qui possède alors la largeur

(1) BARNARD, *Observations of the zodiacal Counter-glow* (*A. J.*, n° 243).

(2) *A. J.*, n° 403, p. 151.

de 4° . S'allongeant toujours il diminue de plus en plus en largeur jusqu'au mois de février, quand il se présente comme une recrudescence de l'intensité de la bande ordinaire de la lumière zodiacale, sa largeur ne dépassant pas $5^\circ-6^\circ$. Barnard a cru d'abord qu'en avril le Gegenschein a un nouveau changement de forme, pareil à celui d'octobre, mais cette supposition n'a pas été confirmée par ses plus récentes observations. Il est plus probable que la contre-lueur conserve sa forme allongée et la connexion avec la lumière zodiacale jusqu'au printemps, quand la jonction disparaît et alors il se présente de nouveau sous la forme d'un petit cercle.

Le Gegenschein possède toujours un excès d'intensité au milieu de sa figure. Il ne se présente pas comme une matière nébuleuse, mais plutôt comme s'il émettait de la lumière réfléchie d'une quantité d'innombrables petites particules ou de la poussière cosmique. Il est très curieux, comme je l'ai déjà noté, que le Gegenschein ne demande pas une grande pureté d'air pour être visible. Souvent, par un temps superbe, on a simplement un soupçon qu'il existe dans le ciel; mais quand le ciel n'est pas très pur on le voit d'une façon assez distincte. Les observations n'ont donné aucune parallaxe pour la contre-lueur. Barnard pense que si ce phénomène se trouvait rapproché de la Terre de plus d'une demi-distance de la Lune, il serait possible de trouver cette parallaxe à l'aide d'observations directes.

Nous pouvons réunir ici les résultats de toutes ces observations :

Années des observations.	Latitude.	$\lambda - \odot$.	Nombre d'observations.
1883-1887.....	$+0,4 \pm 0,38$ err. pr.	$179,4 \pm 0,34$ err. pr.	16
1888-1891.....	$+1,3 \pm 0,30$	$179,4 \pm 0,34$	16
1893.....	$+0,5 \pm 0,06$	$179,6 \pm 0,16$	22
1894-1897.....	$+0,4 \pm 0,17$	$179,9 \pm 0,28$	11

Nous voyons que ces observations sont tout à fait concordantes avec celles de Backhouse.

On peut se poser la question de savoir si les changements du Gegenschein découverts par Barnard sont réels. Il semble avant tout très suspect que, durant la période de sa plus mauvaise visibilité (en juin), le Gegenschein paraisse très faible et petit et sans aucune liaison avec la bande zodiacale. Sous les latitudes moyennes, où le professeur Barnard a fait des observations assidues, l'écliptique pendant ce mois paraît très basse à minuit et la forte absorption atmosphérique dissimule la liaison du Gegenschein avec la bande zodiacale et diminue fortement ses dimensions. Mais peu à peu les conditions de la visibilité s'améliorent,

l'écliptique occupe une position de plus en plus favorable ; l'observateur distingue ensuite la liaison du Gegenschein avec la bande zodiacale et tout le phénomène lui paraît agrandi. Ceci n'explique pourtant pas tous les changements indiqués par le professeur Barnard. Les influences atmosphériques seules ne peuvent donner en octobre au Gegenschein un aspect plus brillant et des dimensions plus imposantes qu'en décembre, car c'est précisément ce dernier mois que les conditions de visibilité du phénomène sont les meilleures. En général, nous pouvons dire simplement que le Gegenschein se trouve toujours en liaison avec la bande zodiacale, que cette liaison est peut-être véritable ou, comme le veut le professeur Barnard, purement optique.

INTENSITÉ DU CIEL NOCTURNE.

En général, la lumière zodiacale présente l'aspect d'une énorme bande lumineuse se déplaçant avec le Soleil le long de l'écliptique. Elle possède deux maxima d'intensité. L'un se trouve près du Soleil et l'autre dans la direction opposée (Gegenschein). Cette bande n'a pas de contours bien définis. S'affaiblissant peu à peu dans les deux sens de l'écliptique, elle finit par se confondre avec le ciel de nuit. On peut se demander où se trouvent les limites réelles de la lumière zodiacale, si elle n'est qu'une bande étroite le long de l'écliptique ou si elle s'étend sur tout le ciel ?

Il est impossible de répondre à cette question d'une manière décisive, car elle se rattache au problème, encore très obscur et inexploré, de l'éclat du ciel nocturne. En effet, le fond du ciel de nuit paraît toujours avoir une certaine luminosité, même pendant les nuits sombres, même aux points élevés de la surface de la Terre, voire même en l'absence complète de lueur d'origine terrestre. De quoi provient cette luminosité du ciel de nuit ? A-t-elle une même origine que la luminosité diurne du ciel ?

Cette hypothèse peut paraître très naturelle et cependant plusieurs faits s'y opposent. Si l'éclat du ciel nocturne était dû à la lumière stellaire réfléchie par la poussière atmosphérique, il devrait rester sensiblement constant.

En réalité, c'est le contraire qu'on observe ordinairement. Ainsi Jones, d'accord en cela avec plusieurs observateurs, dit que cet éclat est parfois vraiment remarquable sans aucune cause apparente. Cette clarté était parfois si forte qu'il pouvait facilement prendre des notes dans son carnet d'observations ⁽¹⁾. En outre, il est évident que la lumière réfléchie des étoiles ne peut

(¹) *Letter from Rev. G. Jones U. S. N., to the editor (A. J., vol. V, 1856, p. 28).*

pas devenir plus vive que la lumière incidente, mais M. Yntema a trouvé ⁽¹⁾ que l'intensité de toute la surface du ciel pendant les nuits claires et sans Lune surpasse de 200 à 300 fois l'intensité des étoiles réunies qui se trouvent au-dessus de l'horizon. Sans le moindre doute, la lumière réfléchie des étoiles intervient dans l'éclat général du ciel, mais sa contribution est extrêmement petite et nous devons en chercher d'autres explications.

Il est peut-être possible d'expliquer ce phénomène par une réfraction anormale dans l'atmosphère, c'est-à-dire en supposant que, quelle que soit la position du Soleil sous l'horizon, un certain nombre de ses rayons pénètre dans les couches supérieures de l'atmosphère et produit l'éclairage du fond du ciel, que le crépuscule, en d'autres termes, ne finit jamais entièrement. Pareille hypothèse sur la réfraction anormale semble possible à Barnard quand il parle du *Gegenschein*. Mais les anomalies dans les couches inférieures de notre atmosphère qui sont chargées de poussière, de vapeurs et d'autres matières éteignant rapidement la lumière, ne peuvent résoudre la question. Quant aux parties supérieures extrêmement raréfiées de l'atmosphère, il paraît tout à fait incompréhensible qu'elles puissent exercer une réfraction aussi forte.

Peut-être l'intensité du ciel nocturne dépend de la lumière directe des innombrables étoiles qu'il est impossible de distinguer séparément, mais qui, prises en bloc, forment une espèce de surface lumineuse. Nous avons un exemple de ce genre dans la Voie lactée. On sait en effet que les étoiles visibles à l'œil nu sont réparties presque également dans tout le ciel, et c'est aux étoiles télescopiques qu'est due cette bande majestueuse qu'est la Voie lactée. Non seulement à l'œil nu, mais aussi aux plus puissants télescopes, la Voie lactée offre une surface brillante qui ne peut être résolue en étoiles. Il est vrai que les étoiles télescopiques augmentent en nombre à mesure qu'on approche de la Voie lactée, mais les diverses particularités de cette bande ne sont pas représentées même approximativement par les étoiles en question. Voilà donc un exemple qui montre que l'éclat du ciel nocturne peut être dû aux étoiles de notre système stellaire. Les précieuses observations de A. Searle à l'Observatoire de Harvard College nous en fournissent un autre. A. Searle ⁽²⁾ et les autres observateurs ont eu l'occasion pendant quelques années (1893-1895) d'observer des bandes lumineuses dans les portions zodiacales du ciel. Ces bandes sont trop faibles pour qu'on puisse indiquer avec précision leur contour. On peut seulement dire que ces contours sont très irréguliers. Les bandes en question étaient obser-

⁽¹⁾ *B. S. A. F.*, 1912, p. 13. Voir aussi les recherches du professeur Newcomb sur l'éclat du ciel nocturne (*P. A. S. P.*, vol. XV, p. 13; *Asph. J.*, déc. 1901).

⁽²⁾ A. SEARLE, *Positions of luminous bands* (*A. A. O. H. C.*, vol. XXXIII, p. 25).

vées dans les constellations de l'Aigle, Verseau, Pégase, etc., jusqu'à celle du Lion.

En s'approchant de la Voie lactée, les bandes augmentent beaucoup leur largeur et cela peut donner lieu de penser qu'elles sont constituées d'étoiles invisibles séparément. Cette hypothèse semble d'autant plus naturelle que, comme il paraît, ces bandes mystérieuses ne changent pas leur position avec le temps. Les observations faites à un mois d'intervalle les montrent toujours à la même place, mais avec un faible changement de contour dû probablement à la difficulté de semblables observations.

Les résultats de Searle pourraient même être prévus à la suite des travaux de M. Stratonoff qui a trouvé qu'il existe un certain nombre de nuages composés uniquement d'étoiles télescopiques de grandeurs différentes. Ces nuages pourraient être visibles à l'œil nu dans leur ensemble comme les bandes lumineuses de Searle. Donc il peut paraître presque hors de doute que l'intensité du ciel dépend de la lumière directe des étoiles, mais la remarque de M. Yntema indique que cette cause est loin de pouvoir expliquer en entier le phénomène.

Il existe encore d'autres causes que nous allons signaler.

Ainsi l'on remarque parfois que la raie caractéristique de l'aurore boréale est visible sur tout le fond du ciel, quoique l'œil de l'observateur ne découvre pas la moindre trace de l'aurore. Nous devons, par suite, admettre que les couches supérieures de l'atmosphère sont souvent éclairées, soit par des décharges électriques suivant la théorie de M. Arrhenius, soit par les rayons cathodiques selon M. Birkeland.

Le même phénomène peut être observé à la surface de Vénus, mais probablement dans une mesure beaucoup plus forte. On sait qu'aux époques où Vénus présente l'aspect d'un mince croissant, la partie sombre paraît être éclairée par une faible lueur qu'on appelle *lumière cendrée de Vénus*. Pour un observateur se trouvant sur la surface de cette planète, le fond du ciel doit avoir un certain éclat dû à cette cause, c'est-à-dire aux aurores répandues sur toute la surface de la planète.

Il m'est arrivé une fois d'observer la variation d'intensité du ciel nocturne dépendant des aurores boréales. Au mois de juillet 1908 j'étais à l'Observatoire astronomique de Tachkent. Un soir, le crépuscule fut étrangement long, le ciel était presque pur ; près de l'horizon il était légèrement couvert de nuages jaune grisâtre ; j'avais attribué cette coloration aux sables du désert soulevés par le vent. Cependant, même à 9^h 30^m du soir, à l'intérieur de la coupole ouverte de l'équatorial photographique, je voyais facilement le cadran de ma montre. Plus tard j'ai appris que, sur une grande étendue de la Russie septen-

trionale on avait observé des aurores boréales exceptionnellement intenses.

Dans quelle mesure ces aurores peuvent-elles contribuer à l'éclairage général du ciel de nuit? A cette question il est impossible de répondre. Il me semble cependant que ce facteur est ordinairement insignifiant, parce que, comme nous le connaissons, le spectroscope ne découvre pas habituellement les raies des aurores dans le ciel, et cependant cet instrument est beaucoup plus sensible que l'œil de l'observateur. Il est plus exact de penser, à mon avis, que les aurores apportent plutôt une influence perturbatrice dans l'intensité du ciel nocturne. Ainsi, toutes les causes signalées jusqu'à présent n'apportent pas encore l'explication du phénomène, et il ne reste qu'à avoir recours à la dernière qui d'ailleurs s'impose elle-même à l'esprit.

C'est la lumière zodiacale qui se propage sur tout le ciel, enveloppant la Terre de sa matière brillante. A ce point de vue, il faudra considérer la lumière zodiacale comme une sorte de nébuleuse couvrant le ciel tout entier, nébuleuse dont l'intensité augmente graduellement vers le plan de l'écliptique et dont le principal maximum coïncide avec le Soleil.

II.

INTRODUCTION.

J'ai déjà fait ressortir à plusieurs reprises l'importance des observations photométriques dans l'étude de la lumière zodiacale. Comme cette lueur ne présente aucun contour déterminé, les observations photométriques seules peuvent fournir une base solide pour discuter sa nature. Jusqu'à présent, aucune observation de ce genre n'a été faite à cause de l'extrême faiblesse du phénomène, qui ne peut impressionner qu'à peine la plaque photographique, mais surtout à cause du manque d'instruments appropriés à de semblables recherches.

Quelques tentatives dans cette direction ont été faites par M. Hoffmeister, à Sonneberg (Thüringen), en 1910 ⁽¹⁾. L'observateur détermine dans le cône de la lumière zodiacale les courbes d'égale intensité suivant la méthode du Professeur Searle et compare ensuite l'intensité le long de chaque courbe avec celle

⁽¹⁾ C. HOFFMEISTER, *Beobachtungen des Zodiacallichtes im Februar und März 1910* (A. N., 4484).

d'une certaine partie de la Voie lactée. Son échelle d'intensités est la suivante :

1° Éclat plus intense que la partie de la Voie lactée de Céphée jusqu'au Grand Chien;

2° Voie lactée à l'est de δ et ϵ Céphée;

3° Voie lactée entre les points : $\alpha = 88^\circ$ - 95° ; $\delta = 0^\circ$;

4° Voie lactée en $\alpha = 80^\circ$ - 88° ;

5° Voie lactée dans Persée.

Les courbes d'égales intensités construites par cet observateur présentent l'aspect ordinaire du phénomène influencé par l'atmosphère.

Près du côté sud, les courbes tracées sont plus serrées qu'au côté nord, comme il fallait s'y attendre, le bord sud de la lumière zodiacale étant plus marqué que le bord nord.

Mais ces observations ne donnent aucune idée de la distribution de l'intensité dans la lumière zodiacale parce que les rapports d'intensité dans la Voie lactée sont tout à fait inconnus. De plus, ces recherches supposent que, dans son étendue assez grande, la Voie lactée peut être considérée d'éclat uniforme, alors que les études modernes sur ce sujet prouvent le contraire. Si nous prenons en considération la difficulté de comparaison de la lumière zodiacale avec la Voie lactée et surtout que la Voie lactée ne présente pas la même unité de lumière pour l'œil nu et pour les télescopes, nous devons en conclure que les observations faites suivant le procédé de M. Hoffmeister ne sont pas de grande importance et ne peuvent accroître nos connaissances de la lumière zodiacale.

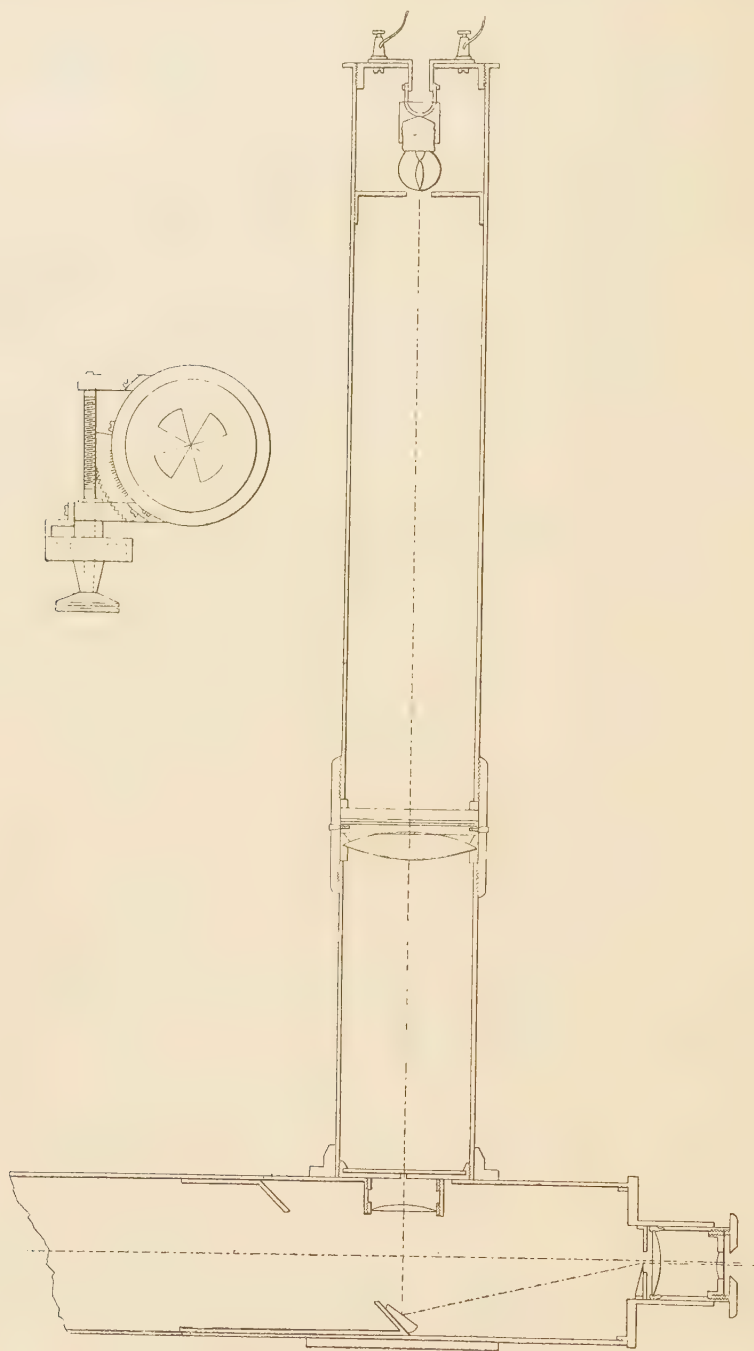
Je donne plus loin la description d'un photomètre destiné à mesurer l'intensité des surfaces, des observations photométriques sur la lumière zodiacale et des conséquences qu'on peut en tirer.

ASTROPHOTOMÈTRE POUR MESURER L'INTENSITÉ DES SURFACES.

(Voir la figure ci-après.)

L'astrophotométrie possède plusieurs appareils, construits suivant les principes les plus divers. Tous ces appareils servent à mesurer l'intensité des points lumineux. Mais, dans les nombreux problèmes de la photométrie, il est nécessaire d'avoir une possibilité de mesurer l'intensité des surfaces. On peut citer, à titre d'exemple, la détermination de l'intensité de la Voie lactée et de la

lumière zodiacale, les recherches des intensités des diverses parties de la Lune,



des planètes, etc. Exception faite du photomètre assez primitif de Bouguer, construit dans l'unique but de mesurer l'intensité relative du ciel de jour, ainsi

que des photomètres industriels, il n'existait pas jusqu'à présent, à mon avis, d'instrument approprié aux mesures d'éclat des surfaces des corps célestes.

Je vais exposer ici la construction d'un astrophotomètre poursuivant spécialement ce but et qui a été construit, suivant mes indications, dans l'atelier de M. Mailhat.

Cet appareil est conçu de la façon suivante : un petit réfracteur porte normalement à son axe et non loin de l'oculaire un tube composé de deux parties jointes bout à bout au moyen d'un manchon fileté. A l'extrémité de la seconde partie se place une petite lampe électrique de 8 volts qui fonctionne dans le photomètre comme source de lumière artificielle, en recevant l'énergie d'une batterie d'accumulateurs.

En général, pour que les observations photométriques soient possibles, la source de lumière employée doit satisfaire à la condition de constance pour un temps plus ou moins long. Or, on sait que les accumulateurs donnent un courant électrique dont l'intensité s'abaisse très lentement et très régulièrement. Par conséquent, on pourra, je crois, employer les accumulateurs directement pour un intervalle de temps suffisamment court, à la condition toutefois de disposer symétriquement les observations, si la nature de l'objet le permet.

En mesurant la force électromotrice du courant électrique à l'aide d'un voltmètre, on pourra, en se servant d'un rhéostat, la maintenir constante. Mais, pratiquement, cela ne sert à rien, parce que les indications du voltmètre sont trop grossières en comparaison aux observations photométriques. Des changements inappréciables par le voltmètre produisent un effet très sensible sur l'éclat de la lampe électrique. Il faut donc se restreindre aux déterminations relatives de l'intensité de la lumière, en employant en cas de besoin comme points de repère des objets célestes d'éclat invariable. On peut croire que la lampe électrique alimentée par un accumulateur est probablement plus constante que la bougie ou la lampe à pétrole que l'on emploie ordinairement dans les photomètres. L'intensité de la lampe à pétrole dépend de facteurs variant sans cesse, par exemple de la pression atmosphérique, de l'humidité, de l'air, etc., et, comme M. Müller l'avoue, on ne peut employer plus de 2 heures une lampe à pétrole sans se trouver obligé de prendre beaucoup de précautions. En outre, le vent fait parfois varier brusquement l'éclat de la lampe à pétrole, ce qui rend les observations photométriques pénibles et inexactes.

Mais revenons à la description du photomètre.

Devant la lampe électrique est placé un diaphragme de forme circulaire avec un diamètre légèrement supérieur aux dimensions du filament. Le but du diaphragme est d'affaiblir la lumière réfléchiée par les parois du tube.

Entre les deux tubes se trouve un micromètre qui règle la quantité de lumière empruntée à la lampe. Il consiste en deux diaphragmes composés chacun de quatre secteurs évidés réunis par leurs sommets. L'angle de chaque secteur est de 45° . Le premier diaphragme est fixe et l'autre se déplace devant lui grâce à l'action d'une vis micrométrique. A l'une des positions extrêmes du diaphragme mobile, les secteurs évidés des deux diaphragmes se superposent et l'aire ouverte est la demi-aire du cercle. A l'autre position extrême correspond la disparition complète de l'air libre : à travers les diaphragmes, ne passe point de lumière.

Tout près du micromètre est disposée une lentille biconvexe. A l'extrémité du premier tube et relié directement au réfracteur se trouve un petit diaphragme dont le diamètre est d'environ 1^{mm} ; il est recouvert d'un verre dépoli. La longueur des tubes est réglée de façon qu'un des foyers de la lentille coïncide avec la lampe électrique et l'autre avec la surface du verre dépoli. Du côté du diaphragme, qui est tourné vers le réfracteur, se trouve une lentille plan-convexe. Elle sert à éviter la diffusion superflue de la lumière. A l'intérieur de la lunette est fixé un petit miroir. Un prisme, dont l'angle de réfraction est assez aigu, est disposé dans le plan focal de l'objectif de façon que l'arête du prisme passe par le centre du champ visuel.

Les rayons lumineux qui sortent du diaphragme à verre dépoli tombent sur le prisme après s'être réfléchis sur le miroir. Ce miroir doit être orienté de façon que les rayons, après réfraction dans le prisme, puissent entrer dans l'oculaire parallèlement à l'axe optique de l'instrument.

Il est évident que les rayons réfléchis, qui pénètrent dans le tube de l'oculaire à travers la moitié du champ, qui n'est pas occupée par le prisme, conservent leur direction inclinée à l'axe optique de l'instrument et restent, par conséquent, invisibles pour l'observateur. Dans le champ, l'observateur examine à l'aide d'un oculaire l'image de l'objet.

Certes, les rayons de l'objet pénètrent en partie par l'espace libre du champ et en partie par le prisme; mais, après s'être réfractés dans sa substance, ils n'atteignent pas l'œil de l'observateur et demeurent invisibles. Nous voyons que le prisme sert à partager la lumière artificielle de comparaison et la lumière provenant de l'objet à examiner. Il en résulte qu'une moitié du champ est occupée par la lumière émanant de l'objet et l'autre par la lumière de la lampe électrique. Ces deux moitiés, évidemment, se touchent sans laisser entre elles d'intervalle visible.

Le miroir réfléchissant la lumière se trouve tout à fait écarté du cône des rayons émanant de l'objet et en laisse passer, par conséquent, la totalité. Le

photomètre pourra donc être appliqué aux recherches des intensités des surfaces les plus faibles. Si l'on retire le prisme du tube de l'oculaire, l'instrument redevient un réfracteur ordinaire.

De plus, pour faciliter les observations dans le plan focal de l'oculaire, on peut placer deux plaques aux diverses ouvertures. Ces plaques entrent dans la fente correspondante du tube de l'oculaire. La première plaque possède deux petites ouvertures circulaires placées tout près l'une de l'autre. L'une de ces ouvertures ne laisse passer que la lumière de l'objet, l'autre celle de la lampe électrique. Les observations consistent à déterminer la lecture du micromètre quand les deux taches lumineuses ont la même intensité. La seconde plaque possède une ouverture circulaire qui se place au milieu du champ. Une des moitiés de cette ouverture est occupée par la lumière venant de l'objet, l'autre par la lumière artificielle. Les observations consistent à faire la lecture du micromètre au moment où les deux moitiés semblent également éclairées. On peut, par conséquent, employer deux méthodes d'observations pour déterminer l'intensité de la surface; la seconde est préférable pour les surfaces intenses. Il est nécessaire de faire cette distinction, parce qu'il est impossible d'avoir en pratique la surface en question de même couleur que la lumière artificielle. Il me semble que les observations rendues difficiles par la diversité des teintes seront beaucoup plus faciles à faire si les taches comparées deviennent tout à fait distinctes. D'autre part, puisque les surfaces brillantes ne sont pas en général uniformes, il importe que les taches comparées soient petites.

Le photomètre a deux oculaires. L'un a comme grossissement 10 et est employé pour mesurer les faibles intensités, où il faut éviter une grande dispersion de la lumière. Le grossissement de l'autre est de 60. Il serait incommode d'employer un grossissement plus fort à cause de la petite ouverture de l'objectif.

La détermination de l'intensité de la surface a cet inconvénient que les deux taches lumineuses sont toujours de couleurs diverses. Si cette différence de coloration est forte, il faudra utiliser des filtres de lumière; on les placera dans le tube de l'oculaire et l'on observera l'objet dans une région déterminée du spectre. Mais, pour anéantir l'insignifiante différence de coloration, le photomètre possède le dispositif suivant :

Devant la lampe électrique se place un très faible filtre de lumière, dont une extrémité laisse passer tous les rayons; l'autre possède une couleur bien appréciable. En déplaçant le filtre, on arrive aisément à l'installer devant la lampe électrique de façon que les deux taches lumineuses soient à peu près de même coloration.

Voyons maintenant quelle est la relation existant entre les lectures du micromètre et les intensités cherchées. En général, on peut employer n'importe quelle méthode pour changer l'intensité de la tache artificielle. Mais il est nécessaire que l'intensité de cette tache varie suivant une loi déterminée, ou alors il faut connaître la correction correspondant à chaque lecture de la vis.

Dans le cas actuel, si l'instrument est exactement construit, la quantité totale de lumière qui passe par le diaphragme situé près du verre dépoli change proportionnellement au déplacement des secteurs.

J'entends par la construction exacte :

que la lampe électrique et le diaphragme près du verre dépoli soient situés sur l'axe optique de la lentille biconvexe;

que le centre des diaphragmes sectoriaux coïncide avec celui de la lentille;

que les centres du diaphragme fixe et du diaphragme mobile coïncident également : c'est la plus importante des conditions.

Si ces conditions sont réalisées, la quantité de lumière qui passe par le micromètre change proportionnellement au déplacement du diaphragme.

Dans la substance de la lentille, la lumière est soumise à une absorption inégale selon que les rayons tombent près du centre de la lentille ou près des bords. Mais toutes les parties de la lentille, centrales ou périphériques, se découvrent ou se couvrent également, de sorte que la quantité totale de lumière qui passe par la lentille et tombe sur le verre dépoli change d'une façon déterminée. A cause des diverses irrégularités de la réfraction comme, par exemple, l'aberration sphérique et chromatique, et surtout à cause de la position inexacte du verre dépoli, les rayons réunis sur ce dernier ne coïncideront pas en un point, mais reproduiront une image diminuée des secteurs évidés. Après s'être réfléchis sur le petit miroir, qui lui-même joue le rôle de diaphragme, et après avoir passé par le prisme et l'oculaire, ils atteindront l'œil de l'observateur. Tout se passe comme si l'on regarde à travers l'oculaire le diaphragme éclairé voisin du verre dépoli et à une distance considérable.

Il est évident que chaque point de l'image diffuse de la lampe forme sur la rétine une surface assez grande. Cette surface et d'autres semblables provenant toutes des divers points de l'image de la lampe vont se superposer et donner une surface assez lumineuse, dont l'intensité change proportionnellement au déplacement des diaphragmes sectoriaux. C'est tout à fait évident, me semble-t-il, et j'estime superflu d'insister davantage sur ce point.

EXAMEN DU PHOTOMÈTRE.

Nous examinerons maintenant les principaux défauts de construction du photomètre; mais, d'abord, nous allons nous rendre compte du degré d'exactitude qu'il faut exiger d'un instrument de ce genre. La plus petite différence d'éclairage que l'œil puisse discerner dans les circonstances les plus favorables est prise ordinairement égale à $\frac{1}{100}$ de la quantité totale de lumière. Mais il est plus important pour nous de connaître ce qu'on appelle le *coefficient de lumière* qui se déduit des observations photométriques des objets célestes. Or Stenheil a déduit de ses observations que ce coefficient est égal à $\frac{1}{38}$ seulement. C'est la limite supérieure d'exactitude que nous puissions exiger de notre œil. Ordinairement, l'imperfection de notre vue se traduit par des erreurs beaucoup plus grandes. Il en résulte qu'il est tout à fait inutile de tâcher d'évaluer d'insignifiants défauts dans la construction de l'instrument, alors que notre œil est lui-même une sorte d'erreurs beaucoup plus importantes et tout à fait inévitables. Pour cette raison, on peut laisser de côté l'effet d'un mauvais centrage de la lentille par rapport aux diaphragmes, car il ne peut en résulter qu'une variation négligeable dans l'absorption de la lumière par la lentille; il en est de même des erreurs périodiques et consécutives de la vis micrométrique, car l'inexactitude des vis modernes est de l'ordre du dix-millième de tour.

Par contre, il faut tenir compte du défaut de centrage des diaphragmes, l'un par rapport à l'autre, qui est particulièrement sensible pour de faibles ouvertures.

Soient O le centre du diaphragme fixe, O' celui du diaphragme mobile, A l'angle de position de O' par rapport à O, compté toujours du bord d'un secteur OK dans la direction du mouvement de l'aiguille d'une montre et soit $e = \angle OO'$.

Dans sa position initiale, l'arête d'un secteur mobile passe par le point K, extrémité du secteur immobile. Supposons qu'on fasse tourner les diaphragmes mobiles de l'angle x . L'aire de l'ouverture sera alors, pour le premier secteur, en négligeant les quantités du second ordre,

$$S_1 = R^2 \frac{x}{2} + \frac{k R^2}{2} [2 \sin(A - x) - \sin A],$$

où

$$k = \frac{e}{R},$$

R étant le rayon des secteurs.

Cette formule est valable, quel que soit l'angle A .

Pour les trois autres secteurs, nous trouvons avec la même approximation les expressions suivantes :

$$S_2 = \frac{R^2}{2} [x - k(\sin A + \cos A)] + \frac{kR^2}{2} [2 \sin(A - x) - \sin A],$$

$$S_3 = \frac{R^2}{2} [x - 2k \sin A] + \frac{kR^2}{2} [2 \sin(A - x) - \sin A],$$

$$S_4 = \frac{R^2}{2} [x - k(\sin A - \cos A)] + \frac{kR^2}{2} [2 \sin(A - x) - \sin A],$$

et, pour tous les secteurs, la formule définitive

$$S = 2R^2 x + 4R^2 k [\sin(A - x) - \sin A].$$

La correction pour l'excentricité prendra la forme très simple

$$dS = -8R^2 k \sin \frac{x}{2} \cos \left(A - \frac{x}{2} \right).$$

L'équation définitive ne contient que deux paramètres et il suffit de quelques observations pour déterminer ces valeurs inconnues. Il existe bien des procédés pour vérifier la théorie d'un photomètre ou déterminer ses constantes. On peut employer avec succès les diaphragmes à secteurs tournant avec vitesse suffisante devant l'objectif, la surface libre des secteurs étant variée. On peut se baser sur le principe de la polarisation pour changer l'intensité de la surface artificielle en utilisant en même temps le micromètre du photomètre de façon que l'intensité de la surface en question reste toujours la même. Mais le procédé le plus simple et le plus sûr consiste dans l'utilisation du principe d'après lequel l'éclairage est proportionnel à l'inverse du carré de la distance, principe fondamental de la photométrie.

C'est ce principe que j'ai appliqué à l'examen de mon photomètre. Je plaçais devant un écran de papier blanc une lampe électrique dont les distances à l'écran étaient fixées une fois pour toutes et mesurées très soigneusement à plusieurs reprises.

Dans cette méthode d'examen du photomètre, on peut attendre certaines erreurs systématiques qui ont les causes suivantes :

La lampe électrique est envisagée en théorie comme réduite à un point, tandis qu'en réalité le filament incandescent occupe une certaine portion de l'espace. L'élément de la surface observée à l'aide du photomètre ne se trouve pas sur la normale de l'écran qui passe par la lampe; de même, l'instrument

n'est pas lui-même situé sur cette normale comme c'est exigé par les conditions théoriques. On peut remplir aussi exactement que possible ces dernières conditions en plaçant la source de lumière et le photomètre aux divers côtés de l'écran; mais, dans ce cas, le principe fondamental de la photométrie devient inapplicable. Il est évident qu'ayant la lampe électrique et l'instrument situés du même côté de l'écran, le seul moyen capable de remédier à toutes ces causes d'erreur consiste à faire les observations à des distances suffisamment grandes, en rapprochant autant que possible la source de lumière et le photomètre vers la normale de l'écran. Dans mes expériences, ces distances variaient de 1^m,294 jusqu'à 3^m,712 et la lampe électrique était toujours placée un peu en arrière de l'objectif et près de son axe de façon que l'objectif ne puisse recevoir que la lumière réfléchiée par l'écran. Il n'est pas inutile d'évaluer approximativement l'erreur maxima qui est due aux causes signalées, pour être bien sûr que nous pouvons appliquer sans aucun égard le principe fondamental. La lampe possédait plusieurs filaments disposés symétriquement autour d'un axe.

Soit d la distance de l'écran à l'axe de la lampe mesurée directement. En se plaçant dans les conditions les plus défavorables, supposons que la lampe possède deux filaments, un en avant, l'autre en arrière de l'axe à la même distance s . L'éclairage de l'écran sera dans ce cas proportionnel à la quantité $\frac{1}{(d+s)^2 + (d-s)^2}$ au lieu d'être proportionnel à $\frac{1}{d^2}$. Mais la première valeur est égale à

$$\frac{1}{d^2} \left(1 - \frac{s^2}{d^2} \right).$$

Dans notre cas, $s = 1^{\text{cm}}$ à peu près; $\frac{s}{d}$ reste donc toujours inférieur à $\frac{1}{100}$. Notre terme correctif est moindre que $\frac{1}{10\,000}$; par conséquent il est entièrement négligeable.

De même en tenant compte de ce que, même dans les conditions les plus défavorables à la distance minima de l'écran, la déviation de la lampe et de l'instrument n'est jamais allée au delà de 3° de la normale dans l'un ou dans l'autre sens, nous arriverons à la conclusion que cette déviation produit également un effet négligeable. L'éclairage de l'élément de l'écran en question par la source de lumière varie proportionnellement au cosinus de l'angle d'incidence, et nous pouvons admettre la même loi pour la lumière réfléchiée conformément aux recherches approfondies de M. Kononowitch sur la réflexion de la lumière par l'écran de papier. Il en résulte que l'erreur provenant de ces causes reste toujours moindre que 0,001 de l'intensité entière, ce qui est encore bien inférieur aux erreurs possibles des observations photométriques.

J'ai donc supposé que la source de lumière, de même que le photomètre, se trouvait sur la normale qui passe par l'élément observé de l'écran. Dans ces conditions, l'intensité observée de l'élément doit varier en raison inverse du carré de la distance, si notre source de lumière conserve la même intensité pendant toute la durée des observations. Pour réduire l'influence possible de cette cause, j'ai fait mes observations dans un ordre symétrique, c'est-à-dire j'ai commencé et terminé par des observations faites à la même distance de l'écran.

Les résultats furent les suivants :

1,71.....	1,000
2,20.....	1,485
3,24.....	2,212
3,93.....	3,605
5,40.....	5,750
7,16.....	8,229

La première colonne donne la lecture de la vis micrométrique, la seconde le carré de la distance de l'écran pris comme unité pour la première observation. Chaque nombre donné dans la première colonne est le résultat de huit observations.

Pour prolonger l'étude du photomètre, j'ai répété les mêmes observations, mais avec une lampe de comparaison d'intensité moindre que dans le cas précédent, et j'ai obtenu :

4,00.....	1,000
5,37.....	1,485
6,70.....	2,242
8,85.....	3,605
12,77.....	5,750
16,00.....	8,229

Ces deux séries de chiffres représentent les deux moitiés de la courbe d'intensité qui ont une partie commune. En réunissant ces deux parties, j'ai pu tracer une courbe unique pour tout le micromètre :

1,71.....	1,000
2,20.....	1,485
3,24.....	2,212
3,93.....	3,605
4,00.....	3,699
5,37.....	5,493
5,40.....	5,750
6,70.....	8,181
7,16.....	8,229
8,85.....	13,335
12,77.....	21,269
16,00.....	30,440

Ces résultats montrent que la variation d'intensité de la surface artificielle dans le champ n'est pas proportionnelle aux déplacements des diaphragmes aux secteurs; qu'elle ne se représente pas non plus par la formule à deux paramètres donnée plus haut, et qu'il faut admettre, par conséquent, que le micromètre possède d'autres causes d'erreurs restées inconnues, ou alors, ce qui est beaucoup plus probable, que l'erreur d'excentricité est plus grande qu'on ne l'avait tout d'abord pensé et que ses secondes puissances ne peuvent être négligées. Au lieu de chercher les termes supérieurs de notre formule qui l'auraient rendue incommode pour les applications, j'ai tout simplement construit la courbe d'intensité en me servant de ces nombres; ensuite, j'en ai déduit une Table donnant l'intensité pour chaque lecture de la vis micrométrique, et c'est cette dernière Table qui m'a servi à la réduction de mes observations.

OBSERVATIONS PHOTOMÉTRIQUES DE LA LUMIÈRE ZODIACALE.

A l'aide de mon photomètre dont je viens de donner la description, j'ai entrepris une série d'observations sur la lumière zodiacale. Évidemment, dans tous les domaines de l'Astronomie, les déterminations photométriques jouent un rôle important; mais dans notre cas, alors que nous nous trouvons en présence d'un phénomène sans contour déterminé, quand tout ce que nous pouvons voir est l'intensité plus ou moins grande de ses différentes parties, les observations photométriques deviennent d'une importance particulière.

A l'aide des observations photométriques, nous pouvons facilement déduire les courbes d'égales intensités du cône de la lumière zodiacale et définir, par conséquent, sa forme, et cela d'une façon plus générale et plus complète qu'on le fait ordinairement, c'est-à-dire en ne se bornant pas uniquement à dessiner son « contour » apparent, qui rentre dans la catégorie des courbes signalées. Les observations photométriques permettent également, ainsi que nous le verrons plus tard, d'évaluer l'effet de l'absorption atmosphérique sur la position de la lumière zodiacale et, par suite, de déduire sa position exacte parmi les étoiles. Elles constituent, enfin, la base de considérations théoriques sur la nature du phénomène, base qui offrira, peut-être, une critique plus complète de diverses opinions émises à ce sujet et éclaircira ainsi le profond mystère qui l'entoure encore.

J'ai commencé mes observations à la fin du mois de février 1913 à l'Observatoire astrophysique de Meudon, grâce à l'aimable autorisation de M. Deslandres, directeur de cet Observatoire. Les conditions à observer n'étaient pas tout à

fait satisfaisantes, à cause de la proximité de Paris. Heureusement, l'Observatoire est situé à l'ouest de la ville et la lumière de cette dernière ne se fait pas sentir sur le côté ouest du ciel, qui est celui où paraît la lumière zodiacale. J'étais installé sur une petite terrasse à l'ouest de la grande coupole, de sorte que Paris était complètement masqué. Tout de même, la partie nord du ciel était éclairée un peu plus par la ville que la partie sud, et à la fin des observations, quand la lumière zodiacale se déplaçait vers le Nord, je soupçonnais parfois qu'elle était influencée par la lumière de la ville. Mais il est possible que ces soupçons soient dénués de fondement. Plus loin, à l'ouest de l'Observatoire, s'étend un vaste bois et l'horizon est dépourvu de feux étrangers; seulement, quand la nuit devient tout à fait noire, on peut distinguer près de l'horizon un faible rayonnement qui est dû aux lueurs de Versailles; mais cette circonstance ne nuisait pas aux observations qui se rapportaient, naturellement, à une certaine hauteur au-dessus de l'horizon.

Avant de procéder aux observations, je portais les contours apparents de la lumière zodiacale sur une carte représentant la région du ciel en question avec un réseau de cercles de longitude et de latitude. Cette carte m'a servi au cours des observations pour marquer entre les étoiles le point examiné du ciel.

Après les observations, à l'aide du réseau mentionné je trouvais facilement la position de ce point en coordonnées écliptiques. Évidemment, pour faire les observations photométriques de ce genre, il faut se mettre à l'abri de toute influence du crépuscule; d'autre part, comme la partie de la lumière zodiacale qui présente le plus d'intérêt est la partie la plus brillante et se trouve tout près de l'horizon, il faut tâcher de ne pas perdre un seul instant d'observations. La détermination du moment de la fin du crépuscule sera donc très importante. Dans ce but, il n'est pas possible d'avoir recours aux procédés ordinaires, qui donnent le commencement de la nuit comme fonction de l'abaissement du Soleil au-dessous de l'horizon, car, comme je l'ai déjà montré, la hauteur de notre atmosphère varie constamment avec la saison et probablement aussi avec les heures. En général, le moment de la fin du crépuscule est une fonction très compliquée de diverses quantités et son évaluation théorique est trop grossière pour le but que nous poursuivons. Au cours de mes observations, j'ai adopté la méthode expérimentale de la détermination du moment propice au commencement du travail.

Avant la fin du crépuscule, l'instrument était dirigé sur une partie du ciel, en dehors de la lumière zodiacale, mais non loin du point du coucher du Soleil. D'abord, l'intensité observée allait en diminuant très rapidement; ensuite d'une façon de plus en plus lente et, enfin, quand pendant quelques minutes je

ne pouvais distinguer les moindres changements d'intensité, j'adoptais ce moment pour le commencement de la nuit et je procédais aux observations.

Je préférais faire les observations sur les mêmes almicantarats, en divisant ainsi la lumière zodiacale par les sections horizontales pour rendre moins sensible l'effet de l'absorption atmosphérique. Au cours des observations, la lumière zodiacale s'abaissait de plus en plus sous l'horizon et, par suite, je pouvais, sans changer en hauteur la direction de l'axe optique de l'instrument, faire presque toutes les observations. Après chaque observation qui contenait trois évaluations d'éclat, je regardais l'heure et je faisais la lecture sur le cercle de hauteur. Je donne ci-dessous mes observations dans l'ordre où elles furent effectuées à l'Observatoire de Meudon. On peut se faire une idée de l'exactitude des évaluations d'intensité.

25 FÉVRIER 1913.

N ^{os} .	Lectures du micromètre.			Moyenne.	Heures d'observation.		Hauteur.	Remarques.
	$\overset{t}{\text{—}}$	$\overset{t}{\text{—}}$	$\overset{t}{\text{—}}$		$\overset{h}{\text{—}} \overset{m}{\text{—}}$	$\overset{h}{\text{—}} \overset{m}{\text{—}}$		
1.....	4 11	4 15	4 4 4 16	4,5	7.15-7.19		19,0	
2.....	4 7	3 15	3 7 3 17	3,8	7.25 fin		19,0	
3.....	3 7	3 7	3 5 2 19	3,2	7.34		19,0	
4.....	2 16	2 14	2 16 2 15	2,8	7.40		19,0	
5.....	2 12	2 10	2 1 2 4	2,3	7.49		19,0	Ma vue est fatiguée.
6.....	3 15	3 13	3 16	3,6	8.11		19,0	
7.....	2 15	2 15	2 13	2,7	8.16		19,0	
8.....	2 16	2 12	2 12	2,7	8.29		19,0	
9.....	2 7	2 13	2 11	2,5	8.34		19,0	
10.....	2 6	2 14	2 5,5 2 10	2,5	8.39		19,0	
11.....	2 16	2 17	3 7 3 0	3,0	8.52		19,0	
12.....	2 15	2 15	2 17	2,8	8.59		19,0	
13.....	2 15	2 16	2 18	2,8	9. 3		19,0	
14.....	2 10	2 9	2 7	2,4	9. 8		19,0	
15.....	2 12	2 9	2 18	2,7	9.17		19,0	
16.....	2 13	2 8	2 18	2,7	9.34		28,5	
17.....	2 11	2 13	2 8	2,5	9.38		28,5	
18.....	2 13	2 6	2 11	2,5	9.41		28,5	

Le tour de la vis micrométrique est divisé en 20 parties.

La lumière zodiacale s'étend jusqu'aux Pléiades. Elle est notablement plus faible que la Voie lactée *pour l'œil nu* dans les constellations Monocerotis et

d'Orion. Les observations étaient commencées en l'absence complète du crépuscule. Il faisait très beau. Pas de vent. La lumière zodiacale paraît très marquée à son côté sud. Vers 9^h 30^m du soir, on ne peut distinguer que le bord austral. L'extrémité nord se dissipe indistinctement dans le ciel.

1^{er} MARS.

N ^{os} .	Lectures du micromètre.			Moyenne.	Heures		Remarques.
	t	t	t		d'observation.	Hauteur.	
	t	t	t	t	h m	o	
1.....	3 6	2 18	2 16	3,0	7.14 fin	14,5	
2.....	2 13	2 5	2 7	2,4	7.22	14,5	
3.....	2 2	2 6	2 5	2,2	7.26	14,5	
4.....	1 15	1 13	1 12	1,7	7.32	14,5	
5.....	2 2	1 17	1 18	1,9	7.37	14,5	
6.....	2 10	2 15	2 11	2,6	7.43	14,5	
7.....	2 9	2 5	2 6	2,3	7.47	14,5	
8.....	2 3	2 1	2 2	2,1	7.53	14,5	
9.....	1 13	1 13,5	1 10	1,6	7.57	14,5	
			1 12				
10.....	2 2	2 4	2 1,5	2,1	8. 3	14,5	
11.....	2 6	2 5	2 9	2,3	8.22	14,5	
12.....	2 2,5	2 3	2 1	2,2	8.28	14,5	
13.....	2 5	2 1	2 1	2,1	8.33	14,5	
14.....	2 4	1 18	2 1	2,0	8.39	14,5	
15.....	1 17	1 12	1 19	1,8	8.45	14,5	
			1 16,5				
16.....	2 3	2 6	2 5	2,2	8.54	14,5	
17.....	1 19	1 17	1 16	1,9	8.58	14,5	
18.....	2 1	1 19	1 18	2,0	9. 4	14,5	
19.....	1 18	2 2	1 18	2,0	9. 9	24,5	
20.....	1 17	1 15,5	1 16	1,8	9.14	24,5	
21.....	1 17	1 18	1 18	1,9	9.18	24,5	
22.....	3 13	3 9	3 6	3,5	9.26	»	Éclairage du ciel produit par les lueurs de Versailles.
23.....	1 13	1 17	1 14	1,7	9.35	43,0	Voie lactée entre α Orion- ζ Gémeaux.

Il fait un peu humide. La lumière zodiacale paraît assez faible et indistincte. Pourtant, on peut noter que la partie sud de cette lueur est, comme la fois précédente, plus marquée que la partie nord. La lumière zodiacale s'étend jusqu'aux Pléiades à peu près. Les observations ont donné des chiffres une fois et demie plus faibles que ceux du 25 février. Étant donnée la constance du courant électrique, cette circonstance me parut tellement étrange, qu'avant de continuer les observations je m'assurai que l'objectif du photomètre n'avait pas condensé sur sa surface des vapeurs atmosphériques. Il paraît très impro-

nable de rapporter cette différence à la lumière zodiacale, car l'éclat du fond du ciel a, d'après les indications du photomètre, baissé lui aussi dans la même proportion. A l'œil nu, le ciel paraît moins sombre que la fois précédente ; la Voie lactée ne se dessine plus avec la même netteté que précédemment et l'éclairage de la voûte céleste par les feux de Paris se fait sentir sur une grande partie du ciel.

8 MARS.

N ^{os} .	Lectures du micromètre.			Heures.		Hauteur.	Remarques.
	Moyenne.			d'observation.			
1...	^t 5 9	^t 5 15	^t 5 13	^t 5,6	^h 7.16 ^m	^o 15,5	
2...	4 11	4 10	4 11	4,5	7.19	15,5	
3...	3 15	3 13	3 11	3,6	7.25	15,5	
4...	2 18	2 15	2 12	2,7	7.29	15,5	
5...	4 12	4 6	4 9	4,4	7.34	15,5	
6...	3 15	3 17	3 12	3,7	7.39	15,5	
7...	3 16	3 11	3 15	3,7	7.42	15,5	
8...	2 11	2 15	2 10	2,6	7.45	15,5	
9...	4 7	4 13	4 9	4,5	7.50	15,5	
10...	4 1	4 5	4 5	4,2	7.54	15,5	
11...	4 11	4 16	4 6	4,5	7.59	15,5	
			4 11				
12...	3 8	3 10	3 6	3,4	8. 9	15,5	
13...	3 15	3 13	3 14	3,7	8. 6	15,5	
14...	2 6	2 5	2 9	2,3	8.10	15,5	Fond du ciel dans le Lièvre.
15...	4 11	4 6	4 2	4,3	8.34	15,5	
			4 6				
16...	3 15	4 7	3 18	4,0	8.39	15,5	
17...	4 0	4 1	4 3	4,1	8.44	15,5	
18...	3 4	2 14	3 5	3,0	8.49	15,5	Nuages dans la lumière zodiacale.
19...	3 2	3 0	3 2	3,1	»	41,0	Voie lactée (Orion-Gémeaux).
20...	2 17	3 2	2 15	2,9	9. 1	41,0	Fond du ciel près de λ Orion.
			2 19				
21...	3 11	3 11	3 13	3,6	9. 9	35,0	Près des Pléiades.
22...	3 9	3 7	3 15	3,5	9.12	35,0	Près d'Aldebaran.
23...	3 13	3 8	3 6	3,4	9.17	35,0	
24...	6 7	6 13	6 9	6,5	9.26		» Éclairage du fond du ciel par les lumières de Versailles.
25...	3 7	3 5	3 6	3,3	9.32	22,5	
26...	3 17	3 8	3 9	3,6	9.35	22,5	

Au commencement des observations, le ciel est beau. Près de 9^h les nuages commencent à venir ; ils couvrent d'abord la base de la lumière zodiacale, ensuite la lumière zodiacale tout entière. Avant 9^h cette région du ciel est parfois traversée par de légers nuages. Vent assez fort. Le temps est un peu brumeux. La lumière zodiacale est très luisante. Elle dépasse de beaucoup (près de sa base à 7^h 30^m) l'intensité apparente de la Voie lactée entre Orion et

les Gémeaux. L'aspect de la lumière zodiacale est ordinaire. Elle est plus marquée sur son bord sud, diffuse sur le bord nord. On peut noter la lumière centrale, assez étroite, s'élevant vers les Pléiades et même jusqu'à la Voie lactée. Elle s'affaiblit par degrés inappréciables dans son enveloppe (la lumière diffuse) dont les limites sont tout à fait indéterminées. Vers le nord elle s'étend plus que vers le sud.

10 MARS.

N°.	Lectures du micromètre.			Moyenne.	Heures		Hauteur.	Remarques.
					d'observation.			
	^h	^m	^s	^t	^h	^m	^s	
1...	3	10	3 11	3 10	3,5	7.54	23,5	
2...	4	10,5	4 12,5	4 7	4,5	7.57	23,5	
3...	3	18	3 19	3 15	3,9	»	23,5	
4...	2	9	2 9	2 5	2,4	8. 6	23,5	Fond du ciel entre Orion et le Lièvre.
				2 7				
5...	3	15	3 19	3 16	3,8	8.10	23,5	
6...	3	15	3 16	3 15	3,8	8.16	23,5	
7...	4	1	4 0	3 17	4,0	8.20	23,5	
8...	3	16	3 14	3 13	3,7	8.25	23,5	
9...	2	17	3 5	3 5	3,1	8.33	23,5	
10...	2	15	2 10	2 14,5	2,7	8.36	23,5	Fond du ciel près de β Orion.
11...	3	18	3 13	3 8	3,6	8.41	23,5	
12...	3	14	3 12	3 16	3,7	8.46	23,5	
13...	2	13	2 19	2 13	2,75	8.56	23,5	

Les observations ne sont pas tout à fait réussies. A la fin du crépuscule, au milieu de la lumière zodiacale, se trouve la Lune entourée de nuages qui, sous forme de mince couche, couvrent l'horizon. La lumière zodiacale est très vague et indistincte. Elle se propage jusqu'aux Pléiades à peu près. Les premières observations sont peut-être affectées par la lumière de la Lune, mais dans une très petite mesure, car la Lune se présente sous forme d'un croissant extrêmement mince (1 jour après sa naissance), se trouve près de l'horizon et est enveloppée de nuages.

Vers 8^h 20^m j'ai remarqué une branche lumineuse qui sortait de la partie gauche de la lumière zodiacale dans la direction horizontale. Elle ressemble à une déformation singulière de la lumière zodiacale elle-même. Mais, en même temps, j'ai remarqué que Vénus se trouvait non loin de cet endroit du ciel, paraissant sous l'aspect d'une brillante nébuleuse. Évidemment, cette déformation de la lumière zodiacale est due à des nuages invisibles directement. Au fur et à mesure des observations, le ciel devient de plus en plus pâle; la lumière zodiacale présente des surfaces d'intensité inégale. A partir de cela, les observations sont terminées.

Les conditions atmosphériques à observer étant peu favorables à Paris, j'ai résolu pour le mois suivant de continuer mes observations au midi de la France. Comme lieu d'observation j'ai choisi Peira-Cava, petite station dans les Alpes-Maritimes, à la distance de 20^{km} à peu près de Nice, en ligne droite vers le nord. Cette station se trouve à la hauteur de 1500^m, près de la frontière italienne. L'absence de lieux habités dans les environs (quelques rares villages sont cachés au fond des vallées) font de cette station un lieu très propice pour les observations de la lumière zodiacale. A l'ouest s'étend l'immense panorama des montagnes niçoises. Aucune lumière étrangère ne se trouve près de l'horizon et n'éclaire le fond du ciel. Je me suis installé au second étage d'un hôtel. En bas, en face de l'hôtel, se trouve une petite épicerie sans éclairage intérieur; elle est faiblement éclairée par quelques lampes électriques de l'hôtel qui ne sont pas visibles directement. En outre, à gauche sur la route, se trouve une petite lampe électrique. Sans attacher trop d'importance à ces faibles lumières, j'ai commencé mes observations le 24 mars, de la fenêtre de ma chambre donnant directement à l'ouest.

24 MARS.

N ^{os} .	Lecture du micromètre.			Moyenne.	Heures		Hauteur.	Remarques.
					d'observation.			
1...	^t 11 9	^t 10 11	^t 10 14	^t 10,9	^h ^m	^o 16,0		
2...	9 3	11 17	12 10	11,0	7.26	16,0		
			10 10					
3...	7 10	8 0	8 0	8,0	»	16,0		
4...	7 15	7 15	8 0	7,8	»	16,0		
5...	6 1	5 17	5 11	5,8	7.36	16,0		
6...	4 16	5 10	4 17	5,0	7.41	16,0		
7...	2 15	3 0	3 5	3,0	7.47	16,0		Fond du ciel dans le Lièvre.
8...	3 8	3 12	4 1	8,7	8.15	18,5		
9...	5 7	5 12	4 19	5,3	8.18	18,5		
10 ..	6 4	6 14	5 16	6,2	8.28	18,5		
			5 19					
11...	4 19	5 7	5 0	5,1	8.28	18,5		
12...	4 3	4 0	4 5	4,1	8.32	18,5		
13...	4 0	3 15	4 8	4,1	»	18,5		Près de α Cassiopée. Près de la Voie lactée.
14...	3 10	3 1	3 7	3,3	8.42	18,5		Entre α - β Orion.

La Lune commence à se lever. Le fond du ciel devient plus clair.

Le crépuscule commençant à tomber, la lumière zodiacale paraît sous forme de pyramide ou, si l'on veut, de cône très large, qui, au fur et à mesure de l'avancement de la nuit, se rétrécit de plus en plus et prend enfin sa forme ordinaire.

Elle est bornée visiblement par les α Poissons, ν - λ Baleine, Saturne d'un côté et ζ Andromède, α Triangle, γ Persée de l'autre. Sa couleur est tout à fait blanche, quoique la courbe crépusculaire présente une teinte sensiblement jaunâtre. De même qu'à Meudon, la lumière zodiacale est plus nettement bornée dans sa partie gauche que dans sa partie droite.

Pourtant l'œil est très affecté par la lumière étrangère et les observations sont assez pénibles. Les évaluations exactes de l'éclat sont presque impossibles, parce qu'au bout de quelques secondes l'œil se fatigue tellement que le champ de la vision, où est visible la lumière zodiacale, disparaît complètement. Il en résulte une inexactitude considérable des observations. En outre, il semble très probable que les premières observations sont affectées par le crépuscule.

Ces observations montrent tout de même que la lumière zodiacale est considérablement plus intense à Peira-Cava qu'à Meudon, près du niveau de la mer, et que même le fond du ciel est plus clair qu'en bas; dans ce cas, cela montre que l'intensité du ciel nocturne est due à des causes cosmiques qui ont leur siège au delà de l'atmosphère terrestre ou au moins dans ses couches supérieures.

Pour les observations suivantes, je me suis installé à un éloignement suffisant des hôtels, sur la pente de la montagne.

27 MARS.

N ^{os} .	Lectures du micromètre.			Moyenne.	Heures d'observation.		Hauteur.	Remarques.
	t	t	t		h	m		
1...	2 18	2 9	2 9	2,6	10.38		28,5	Toutes les observations sont influencées probablement par les nuages.
2...	3 0	2 15	3 0	2,9	10.43		28,5	
3...	3 0	2 6	2 6	2,5	10.48		35,0	
4...	2 11	2 16	2 8	2,6	11. 2		28,5	
5...	2 18	3 5	3 2	3,1	11. 8		28,5	
6...	3 5	3 7	»	3,3	»		28,5	

Au coucher du Soleil, le ciel est couvert de nuages. Près de 11^h30^m du soir, quand mes observations étaient finies, je portai mon attention sur le prolongement du cône ordinaire de la lumière zodiacale. Le ciel semble de prime abord éclairé uniformément sans aucune trace du phénomène. Mais en comparant attentivement les endroits du ciel au nord et au sud de l'écliptique, j'ai trouvé bientôt que le long de l'écliptique passe une large bande de lumière extrêmement faible entourant presque tout le ciel. Je la distinguai dans les constellations du Cancer, du Lion et même de la Vierge.

28 MARS.

N ^{os} .	Lectures du micromètre.			Moyenne.	Heures	Hauteur.
					d'observation.	
1.....	^t 4 10	^t 5 5	^t 4 5	^t 4,7	»	⁰ 22,5
2.....	3 15	3 10	3 13	3,6	^h 8.25 ^m	22,5
3.....	2 1	2 1	2 6	2,1	10.24	36,5

Parfois la lumière zodiacale est traversée par les nuages.

30 MARS.

1.....	4 0	3 10	3 15	3,9	7.49	17,5?
2.....	4 1	4 0	3 19	4,0	7.57	21,5?
3.....	3 3	3 5	3 9	3,3	8. 0	21,5?
4.....	2 19	2 11	2 8	2,6	8. 6	21,5?
5.....	2 8	2 5	2 7	2,3	8.12	26,5
6.....	3 8	3 9	3 4	3,3	8.16	26,5
7.....	2 19	3 10	2 19	3,1	8.24	26,5
8.....	2 3	2 3	2 14	3,3	8.31	26,5
9.....	2 6	2 9	2 6	2,3	8.47	26,5
10.....	2 17	2 11	2 16	2,7	8.51	26,5

De légers nuages dans la lumière zodiacale.

1^{er} AVRIL.

N ^{os} .	Lectures du micromètre.			Moyenne.	Heures	Hauteur.	Remarques.
					d'observation.		
1.....	^t 5 0	^t 4 17	^t 5 3	^t 5,0	^h 8.35 ^m	»	Près de γ Andromède.
2.....	2 14	2 14	2 15	2,7	10.35	»	Près de α Petit Chien.
3.....	2 10	3 8	3 3	3,0	»	»	
4.....	3 3	3 3	2 16	3,0	10.40	»	Près de α Cocher.

Le brouillard en bas couvre les montagnes. D'abord le ciel est tout à fait pur, mais parfois passent de petits nuages, comme d'obscures taches de contours diffus. A la fin du crépuscule, le ciel est couvert complètement; pas de vent. Quelquefois, pendant la soirée, le ciel s'éclaircissait et j'ai profité de ces moments pour les observations. En général, toutes les observations faites à Peira-Cava n'ont pas de valeur, à cause des conditions d'observations extrêmement défavorables.

Grâce à l'aimable autorisation de M. le général Bassot, directeur de l'Observatoire de Nice, j'ai obtenu la possibilité, en avril et en mai 1913, de faire mes

observations sur la lumière zodiacale dans les conditions favorables du climat du midi de la France. Cependant, la saison a été trop avancée pour les observations de ce genre. Le crépuscule dure presque 2 heures et, au commencement des observations, la partie principale et la plus intéressante de la lumière zodiacale est déjà couchée. L'instrument est installé sur la terrasse, près de la grande coupole. L'éclairage de la ville est assez sensible, mais les mesures photométriques de la lumière zodiacale ne sont pas, à mon avis, influencées par cette cause, parce que la ville se trouve plutôt vers le sud, tandis que la lumière zodiacale est au nord-ouest.

28 AVRIL.

N ^{os} .	Lectures du micromètre.						Heures		Hauteur.	Remarques.
	Moyenne.						d'observation.			
	t	t	t	t	t	t	h	m	o	
1...	4 8	4 0	3 18	4,1	8.25	15,5				
2...	3 1	3 4	3 0	3,1	8.33	15,5				
3...	2 13	2 15	2 9	2,6	8.39	15,5				
4...	2 0	2 2	2 1	2,0	8.43	15,5				
5...	1 18	1 16	1 19	1,9	8.46	15,5				
6...	2 0	2 5	1 19	2,1	8.52	15,5				
7...	2 0	2 5	2 0	2,1	8.57	15,5				
			2 4							
8...	2 8	2 9	2 4	2,3	9.12	20,5				
9...	2 12	2 5	2 4	2,3	9.25	20,5				
10...	1 18	1 13	1 15	1,7	9.32	20,5				
11...	1 14	1 13	1 16	1,7	9.35	20,5				
12...	2 3	2 1	2 4	2,1	9.40	20,5				
13...	2 2	2 2	1 19	2,05	9.55	20,5				
14...	1 14	1 12	1 14	1,7	10. 0	20,5				
15...	1 9	1 12	1 8	1,5	10. 5	20,5				
16...	2 1	2 6	2 5	2,2	10.36	18,5				
17...	2 5	2 1	2 3	2,1	10.42	18,5				
18...	2 3	2 6	2 3	2,2	10.47	18,5				
19...	2 5	2 3	2 4	2,2	10.53	18,5				
20	1 16	2 1	2 0	1,95	»	22,5				Voie lactée près de α Cygne.
21	1 12	1 15	1 14	1,7	11. 7	22,5				Voie lactée entre α et γ Cygne.

Le ciel est pur. Il y a un peu de brouillard près de l'horizon ouest.

Après la fin du crépuscule, la lumière zodiacale a paru bornée très distinctement du côté sud et diffuse au nord. Mais vers 9^h 15^m elle s'est toute transformée en tache diffuse, sans limite déterminée.

Elle peut être visible jusqu'à la constellation du Cancer. Plus loin, elle se dissipe dans le ciel. L'éclairage de la ville fatigue beaucoup les yeux.

29 AVRIL.

N ^{os} .	Lectures du micromètre.			Moyenne.	Heures d'observation.	Hauteur.	Remarques.
	^t	^t	^t				
1...	4 16	4 5	4 11	4,5	^h 8.37 ^m	^o 18,5	
2...	3 10	3 3	3 3	3,3	8.42	18,5	
3...	2 3	2 0	1 17	2,0	8.44	18,5	
4...	3 3	2 17	2 17	2,90	8.48	18,5	
5...	2 6	2 5	1 18	2,1	8.52	18,5	
			2 0				
6...	2 17	3 3	3 0	3,0	8.58	18,5	Léger brouillard.
7...	2 3	2 2	2 0	2,1	9. 1	18,5	
8...	2 5	2 0	2 0	2,1	9. 7	18,5	
9...	2 17	2 10	2 12	2,6	9.15	18,5	
10...	2 3	2 2	2 0	2,1	9.17	18,5	
11...	1 15	1 16	1 15	1,8	9.22	18,5	
12...	1 11	1 15	1 13	1,65	9.26	18,5	
13...	1 10	1 13	1 11	1,6	9.30	18,5	
14...	1 19	1 14	1 17	1,84	9.34	18,5	
15...	1 15	2 2	1 13	1,8	9.53	23,5	Le brouillard commence à se lever.
			1 15				
16...	1 11	1 9	1 11	1,5	9.57	23,5	
			1 8				
17...	2 1	2 8	2 5	2,2	10.12	23,5	
18...	2 3	2 10	2 5	2,3	10.17	23,5	
19...	1 18	1 18	1 19	1,95	10.22	23,5	
20...	2 2	2 15	2 7	2,3	10.27	23,5	
			2 2				

Le temps est beau. Le ciel est pur, mais au Sud, près de l'horizon, on voit un léger brouillard. Les observations sont un peu gênées, parce que la manette du commutateur n'est pas suffisamment dure. L'appareil est installé au bout de la place, près de la grande coupole, et il est protégé des lueurs de la ville par un écran. Grâce à ces précautions, l'éclairage de la ville ne gêne pas les observations. Les observations 11-16 sont produites avec le filtre de lumière légèrement déplacé. Il faut donc les considérer comme rapportées à une autre unité de lumière.

30 AVRIL.

N ^{os} .	Lectures du micromètre.			Moyenne.	Heures d'observation.	Hauteur.	Remarques.
	^t	^t	^t				
1...	4 8	4 15	4 7	4,5	^h 8.39 ^m	^o 20,5	De légers cirro-stratus dans différentes parties du ciel.
2...	4 0	3 19	4 3	4,0	8.41	20,5	Quelques nuages au nord de la lumière zodiacale.
3...	3 15	3 10	3 12	3,6	8.44	20,5	
4...	2 18	2 18	2 14	2,83	8.48	20,5	
5...	3 0	3 2	3 2	3,1	8.51	20,5	
6...	3 15	3 14	3 16	3,75	9. 0	20,5	
7...	3 6	3 8	3 7	3,35	9. 2	20,5	

F.

11

30 AVRIL (suite).

N ^{os} .	Lectures du micromètre.			Moyenne.	Heures d'observation.	Hauteur.	Remarques.
	^t	^t	^t				
8...	2 13	2 15	2 13	2,7	9. 7	20,5	
			2 14				
9...	3 5	3 3	3 4	3,2	9.10	20,5	
10...	3 10	3 3	3 8	3,4	9.15	20,5	
			3 10				
11...	2 10	2 10	2 10	2,5	9.22	20,5	La lumière zodiacale est tra- versée par des nuages. Le ciel est un peu brumeux.
12...	2 16	2 17	2 12	2,75	10.12	16,5	
13...	2 12	2 11	2 10	2,55	10.18	16,5	La lumière zodiacale est com- plète, couverte par les nuages.

L'aspect de la lumière zodiacale est analogue à celui des dernières soirées ; toujours le bord sud plus marqué que le bord nord. Toujours la même position dans le ciel ou à peu près. Les limites de ce phénomène sont très difficiles à apprécier, surtout celles du nord.

1^{er} MAI.

N ^{os} .	Lectures du micromètre.			Moyenne.	Heures d'observation.	Hauteur.	Remarques.
	^t	^t	^t				
1...	3 10	3 17	3 18	3,76	8.41	16,5	Ciel est beau. Léger vent de l'Est.
			3 16				
2...	3 5	3 5	3 2	3,2	8.43	16,5	
3...	3 6	3 2	2 19	3,1	8.47	16,5	
			3 2				
4...	2 7	2 8	2 8	2,4	8.51	16,5	
5...	2 9	2 5	2 8	2,35	8.53	16,5	
6...	3 1	3 1	2 17	3,0	9. 1	16	
7...	2 13	2 12	2 13	2,65	9. 3	16	
8...	2 13	2 13	2 12,5	2,65	9. 8	16	
9...	2 5	2 8	2 5	2,3	9.11	16,0	
10...	2 9	2 8	2 8	2,42	9.14	16,0	
11...	2 19	3 1	2 15	2,9	9.22	16,0	
12...	2 15	2 11	2 12	2,65	9.29	16,0	
13...	2 9	2 10	2 10	2,5	9.34	16,0	
14...	2 5	2 5	2 5	2,25	9.38	16,0	
15...	2 4	2 1	2 5	2,15	9.43	16,0	
16...	2 3	2 1	2 5	2,15	9.47	16,0	
17...	2 8	2 7	2 6	2,35	10. 2	16,0	Bande de nuages près de l'horiz.
18...	2 4	2 3	2 0	2,12	10. 4	16,0	
19...	1 18	2 3	2 2	2,05	10. 8	16,0	
20...	2 7	2 4	2 0	2,16	10.13	16,0	Les nuages s'élèvent.
			2 2				
21...	2 0	1 16	2 0	1,95	»	29,5	Il y a bien, peut-être, un peu de brume à l'endroit du ciel examiné.
22...	2 2	2 0	2 1	2,0	10.31	29,5	
23...	1 16	1 16	1 18	1,85	10.35	29,5	
24...	1 18	1 19	1 19	1,95	10.39	29,5	

La lumière zodiacale présente l'aspect et la position ordinaires.

2 MAI.

N ^{os} .	Lectures du micromètre.			Moyenne.	Heures		Hauteur.	Remarques.
	$\overset{t}{\text{—}}$	$\overset{t}{\text{—}}$	$\overset{t}{\text{—}}$		d'observation.			
1...	$\overset{t}{3} \ 8$	$\overset{t}{2} \ 18$	$\overset{t}{3} \ 1$	$\overset{t}{3},1$	$\overset{h}{8}.\overset{m}{44}$	$\overset{o}{17},5$		
2...	$\overset{t}{2} \ 12$	$\overset{t}{2} \ 15$	$\overset{t}{2} \ 12$	$\overset{t}{2},65$	$\overset{h}{8}.\overset{m}{47}$	$\overset{o}{17},5$		
3...	$\overset{t}{2} \ 14$	$\overset{t}{2} \ 10$	$\overset{t}{2} \ 16$	$\overset{t}{2},7$	$\overset{h}{8}.\overset{m}{50}$	$\overset{o}{17},5$		
4...	$\overset{t}{2} \ 5$	$\overset{t}{2} \ 4$	$\overset{t}{2} \ 2$	$\overset{t}{2},2$	$\overset{h}{8}.\overset{m}{53}$	$\overset{o}{17},5$		
5...	$\overset{t}{2} \ 5$	$\overset{t}{2} \ 2,5$	$\overset{t}{2} \ 1$	$\overset{t}{2},14$	$\overset{h}{8}.\overset{m}{56}$	$\overset{o}{17},5$		
6...	$\overset{t}{2} \ 9$	$\overset{t}{2} \ 8$	$\overset{t}{2} \ 6$	$\overset{t}{2},4$	$\overset{h}{9}.\overset{m}{4}$	$\overset{o}{17},5$		Bande de nuages près de l'ho-
7...	$\overset{t}{2} \ 9$	$\overset{t}{2} \ 7$	$\overset{t}{2} \ 9,5$	$\overset{t}{2},43$	$\overset{h}{9}.\overset{m}{6}$	$\overset{o}{19},5$		rizon. La lumière zodiacale en
								est peut-être léger. affectée.
8...	$\overset{t}{2} \ 15$	$\overset{t}{2} \ 11$	$\overset{t}{2} \ 5$	$\overset{t}{2},5$	$\overset{h}{9}.\overset{m}{10}$	$\overset{o}{19},5$		Le brouillard s'élève.
			$\overset{t}{2} \ 7$					
9...	$\overset{t}{2} \ 5$	$\overset{t}{2} \ 7$	$\overset{t}{2} \ 6$	$\overset{t}{2},3$	$\overset{h}{9}.\overset{m}{24}$	$\overset{o}{24},5$		
10...	$\overset{t}{2} \ 6$	$\overset{t}{2} \ 1$	$\overset{t}{2} \ 5$	$\overset{t}{2},2$	$\overset{h}{9}.\overset{m}{29}$	$\overset{o}{24},5$		
11...	$\overset{t}{2} \ 2$	$\overset{t}{2} \ 2$	$\overset{t}{2} \ 3$	$\overset{t}{2},12$	$\overset{h}{9}.\overset{m}{33}$	$\overset{o}{24},5$		
12...	$\overset{t}{2} \ 1$	$\overset{t}{2} \ 0$	$\overset{t}{2} \ 4,5$	$\overset{t}{2},1$	$\overset{h}{9}.\overset{m}{36}$	$\overset{o}{24},5$		
13...	$\overset{t}{1} \ 19,5$	$\overset{t}{1} \ 17$	$\overset{t}{2} \ 1$	$\overset{t}{1},96$	$\overset{h}{9}.\overset{m}{40}$	$\overset{o}{24},5$		
14...	$\overset{t}{2} \ 3$	$\overset{t}{2} \ 2$	$\overset{t}{2} \ 3,5$	$\overset{t}{2},14$	$\overset{h}{9}.\overset{m}{47}$	$\overset{o}{24},5$		Légers nuages près de α Petit
15...	$\overset{t}{2} \ 2$	$\overset{t}{1} \ 18$	$\overset{t}{1} \ 19$	$\overset{t}{1},98$	$\overset{h}{\text{»}}$	$\overset{o}{24},5$		Chien.
16...	$\overset{t}{1} \ 19$	$\overset{t}{2} \ 1$	$\overset{t}{2} \ 0$	$\overset{t}{2},0$	$\overset{h}{9}.\overset{m}{59}$	$\overset{o}{26},5$		
17...	$\overset{t}{1} \ 18$	$\overset{t}{1} \ 16$	$\overset{t}{1} \ 19$	$\overset{t}{1},9$	$\overset{h}{10}.\overset{m}{7}$	$\overset{o}{26},5$		

Des nuages entrent dans la lumière zodiacale. Il fait un peu brumeux. Quelques minutes après la fin des observations, le ciel est complètement couvert.

En général, la lumière zodiacale présente le même aspect. Le bord sud paraît seulement moins marqué qu'auparavant.

3 MAI.

Pendant la journée, il a plu plusieurs fois; avant les observations, le ciel s'était éclairci; mais à l'Ouest, il restait tout de même assez de nuages formant des bandes traversant la lumière zodiacale. Les observations ci-dessus sont peut-être affectées par leur présence.

N ^{os} .	Lectures du micromètre.			Moyenne.	Heures		Hauteur.	Remarques.
	$\overset{t}{\text{—}}$	$\overset{t}{\text{—}}$	$\overset{t}{\text{—}}$		d'observation.			
1...	$\overset{t}{2} \ 10$	$\overset{t}{2} \ 10$	$\overset{t}{2} \ 16$	$\overset{t}{2},6$	$\overset{h}{9}.\overset{m}{4}$	$\overset{o}{20}$		
2...	$\overset{t}{2} \ 11$	$\overset{t}{2} \ 15$	$\overset{t}{2} \ 5?$	$\overset{t}{2},6$	$\overset{h}{9}.\overset{m}{9}$	$\overset{o}{20}$		Nuages.
3...	$\overset{t}{2} \ 5$	$\overset{t}{2} \ 7$	$\overset{t}{2} \ 3$	$\overset{t}{2},2$	$\overset{h}{9}.\overset{m}{13}$	$\overset{o}{20}$		
4...	$\overset{t}{2} \ 11$	$\overset{t}{2} \ 12$	$\overset{t}{2} \ 7$	$\overset{t}{2},5$	$\overset{h}{9}.\overset{m}{19}$	$\overset{o}{20}$		L'observation est douteuse.

6 MAI.

Quelques nuages couvrent en partie la lumière zodiacale.

N ^{os} .	Lectures du micromètre.			Moyenne.	Heures d'observation.	Hauteur.	Remarques.
	^t	^t	^t	^t	^h ^m	^o	
1...	3 6	3 3	3 5	3,2	8.54	16,5	
2...	2 19	2 18	2 17	2,9	8.59	16,5	
3...	3 1	2 15	2 15	2,85	9. 3	26,0	
4...	2 4	2 5	2 3	2,2	9. 9	21,0	
5...	2 10	2 8	2 5	2,4	9.16	16,5	
6...	2 15	2 11	2 16	2,7	9.21	19,0	
7...	2 15	2 10	2 11	2,6	9.25	22,5	
8...	2 7	2 10	2 8	2,4	9.28	22,5	
9...	2 0	2 1	2 1	2,03	9.33	22,5	
10...	2 11	2 9	2 15	2,6	9.38	22,5	Un léger nuage traverse la lumière zodiacale.
11...	2 10	2 11	2 7	2,47	9.54	21,0	
12...	2 7	2 4	2 5	2,27	10. 8	23,5	
13...	2 12	2 12	2 7	2,5	10.17	23,5	
14...	2 10	2 8	2 7	2,33	10.21	23,5	

L'instrument est toujours dirigé vers une partie du ciel débarrassée des nuages et semblant tout à fait dépourvue de brouillard. Toutefois, il n'est pas impossible que toutes ces observations soient affectées par de légers nuages invisibles; dans tous les cas, il me paraît presque certain que l'atmosphère est ce soir moins transparente qu'à l'ordinaire. Pour cette raison, ces observations devront être prises avec un poids moitié moindre.

Il m'est arrivé ce soir d'observer un phénomène assez curieux; ordinairement, le sommet du cône de la lumière zodiacale est incliné, comme on le sait, vers le Sud, et paraît plus nettement défini à sa gauche. Mais cette fois-ci, vers 9^h30^m du soir, c'est le bord droit de la lumière zodiacale qui se dessine très nettement, tandis que le bord gauche était couvert en partie par des nuages. Au premier abord, on pourrait croire à un changement dans la lumière zodiacale elle-même semblable à ceux qui ont été signalés à plusieurs reprises par divers observateurs. Cependant, un examen attentif des étoiles situées à droite du cône lumineux et dans son voisinage immédiat a montré que leur éclat était considérablement plus faible qu'à l'ordinaire. Donc, c'est aux nuages situés d'une façon tout à fait particulière, aux nuages invisibles et diffus, qu'il faut attribuer cet étrange aspect de la lumière zodiacale. On peut se demander, par conséquent, si les particularités de la lumière zodiacale ne sont pas dues à la même cause. On n'observe, en effet, que l'intensité totale d'une partie du ciel et l'on en tire des conclusions sur les changements de la lumière zodiacale sans

jamais comparer soigneusement les éclats des étoiles voisines qui, seules, peuvent révéler les variations atmosphériques influençant le phénomène observé.

RÉDUCTION DES OBSERVATIONS.

La réduction de mes observations photométriques comprend trois opérations.

Il faut d'abord exprimer toutes les lectures à l'aide de ma Table donnant l'intensité correspondant à chaque lecture du micromètre; ensuite, il faut introduire la correction provenant de l'absorption atmosphérique et puis affranchir les résultats dans la mesure du possible de la non-constance de la lampe électrique employée comme source artificielle de lumière. Cette seconde correction présente quelques difficultés.

En effet, l'absorption atmosphérique de la lumière par l'atmosphère dépend de la longueur d'onde; les rayons dont la longueur d'onde est petite sont absorbés plus que ceux dont la longueur d'onde est plus considérable. Mais les propriétés de la lumière du phénomène en question étant encore inconnues, il est absolument impossible d'évaluer la correction exacte provenant de l'absorption atmosphérique, car elle demande la connaissance de la distribution des intensités dans le spectre de la lumière zodiacale.

Le spectroscope nous montre seulement que le maximum d'intensité de la lumière zodiacale se trouve dans la partie verte du spectre. A l'œil nu, cette lueur paraît de couleur blanche. En raison de cela, il me semble raisonnable d'appliquer à la lumière zodiacale les Tables ordinaires de l'absorption atmosphérique.

On peut, en outre, se demander si l'absorption atmosphérique est la même pour les points lumineux et pour la surface lumineuse comme la lumière zodiacale. Je ne vois aucune raison de croire que ces corrections peuvent être différentes. L'expression fondamentale de la théorie de l'absorption, à savoir $i = Ce^{-\tau}$ déduite pour un rayon qui passe dans un milieu absorbant, peut être également obtenue dans le même ordre d'idées sans aucun changement pour la surface lumineuse, c'est-à-dire pour un faisceau des rayons. J'ai cru qu'il était également nécessaire d'appliquer les mêmes Tables d'absorption atmosphérique aux intensités observées du fond du ciel. Peut-être, cette dernière correction peut soulever quelques objections. Mais nous avons déjà traité la question de savoir d'où provient l'éclat du ciel nocturne. Quelle que soit la cause de ce phénomène encore mystérieux, il est hors de doute que cette cause a son siège en dehors de notre atmosphère ou, au moins, dans ses couches supérieures.

Pour ces raisons, j'introduis la correction provenant de l'absorption atmosphérique également dans toutes les intensités observées.

La formule de Bouguer donnant l'absorption dans l'atmosphère est, comme on sait, la suivante :

$$\log \frac{I_0}{I_z} = -\log p \left(\sec z - 1 - \frac{l_0}{2a} \tan^2 z \sec z + \dots \right);$$

I_0 est l'intensité d'un astre vu au zénith;

I_z est l'intensité d'un astre à la distance zénithale z ;

p le coefficient de transparence de l'atmosphère, coefficient qui est propre à chaque station suivant les altitudes et les conditions locales;

l_0 la hauteur de l'atmosphère terrestre, en supposant qu'elle est d'une densité égale à celle du lieu d'observation. Au niveau de la mer $l_0 = 8000^m$;

a le rayon de la Terre $= 6371000^m$.

Nous ne pouvons pas nous servir directement de cette formule, ni de celle un peu plus exacte qui est due à Laplace. (Les deux formules sont tout à fait identiques au point de vue de la pratique.)

Ces formules étaient déduites dans la supposition d'un état idéal de l'atmosphère, qui ne correspond jamais à la vérité. Bouguer avait supposé, comme Laplace, que l'atmosphère était purement gazeuse, tandis qu'en réalité la poussière en constitue une partie intégrante très importante au point de vue de l'absorption de la lumière. Aux petites distances zénithales, le nombre de particules qui se trouvent dans le cylindre ayant pour base la surface de l'objectif ou la pupille de l'œil augmente rapidement, de sorte que l'absorption calculée suivant la formule ci-dessus sera toujours inférieure à l'absorption réelle. Pour la lumière zodiacale, cette circonstance a d'autant plus de valeur que ce phénomène se trouve toujours près de l'horizon et est soumis d'une façon très sensible aux variations de transparence de l'atmosphère.

Il me semble, par conséquent, préférable d'avoir recours aux Tables d'absorption empiriques construites par l'éminent astrophysicien Müller pour Potsdam et pour Sântis (altitude 97^m et 2504^m), et cela d'autant plus que les conditions dans lesquelles se trouve Potsdam présentent beaucoup d'analogie avec celles de Meudon.

Pour la première série de mes observations (Meudon), je me propose d'utiliser la Table de Potsdam telle qu'elle est. Mais pour les autres stations, celles de Peira-Cava et du Montgros, il est nécessaire de faire une réduction à leur altitude. Pour cette réduction, nous n'avons pas d'autre moyen que la formule

déjà signalée de Bouguer, de sorte que nous introduisons de nouvelles erreurs. Pour les éviter autant que possible; je me propose de déterminer tout d'abord la valeur du coefficient p de transparence de l'atmosphère en me servant des données des Tables d'absorption de Müller entre 13° et 38° de hauteur, limites dans lesquelles sont comprises toutes mes observations. De cette façon, l'expression théorique de l'absorption sera très rapprochée, parmi les limites en question, de la Table empirique et le passage de l'altitude de Potsdam à celle de Peira-Cava ou du Montgros se fera sans erreur considérable.

Appelons p_0 la valeur approximative de p , de sorte que

$$p = p_0 + dp,$$

dp étant la correction à déterminer.

Notre formule peut être représentée sous la forme

$$\log \frac{I_0}{I_z} = -\log(p_0 + dp) \left(\sec z - 1 - \frac{l}{2a} \tan^2 z \sec z + \dots \right);$$

d'où il résulte

$$\frac{dp}{p} \left(\sec z - 1 - \frac{\tan^2 z \sec z}{2a} l_0 \right) = -\log \frac{I_0}{I_z} - \log p_0 \left(\sec z - 1 - \frac{\tan^2 z \sec z}{2a} l_0 \right).$$

J'en ai déduit simultanément la valeur dp à l'aide de la Table d'absorption pour Potsdam et pour Sântis en me servant des quantités $p_0 = 0,885$ (Potsdam) et $0,879$ (Sântis) et en réduisant la hauteur de l'atmosphère homogène l_0 aux niveaux de Potsdam (97^m) et Sântis (2504^m) au moyen de la formule

$$l = l_0 \cdot 10^{\text{ZM} k_{\text{G}_{45}} (1 - \text{ZM} k_{\text{G}_{45}} \cdot 0,0026 \cos 2\varphi)} \quad (1),$$

où

$$l_0 = 8000^{\text{m}} \quad \text{et} \quad \frac{1}{\text{M} k_{\text{G}_{45}}} = 18336^{\text{m}}.$$

(1) En effet, la formule barométrique de Laplace est, comme on sait,

$$Z = 18336 \log \frac{h_1}{h_2} \left[1 + 2 \frac{\tau_1 + \tau_2}{1000} \right] \left[1 + 0,00265 \cos 2\varphi + \frac{Z + 15926}{6366198} \right] \left[1 + \frac{Z}{3183099} \right]$$

ou, plus simplement,

$$Z = 18336 \log \frac{h_1}{h_2} [1 + 0,00265 \cos 2\varphi];$$

cela suffit dans notre cas, parce que la quantité l entre dans le terme du second ordre de la formule de Bouguer.

D'autre part,

$$\frac{l_1}{l_2} = \frac{h_1}{h_2},$$

d'où résulte la formule énoncée.

Pour les distances zénithales 77° , 72° , 67° , 62° et 57° avec les valeurs correspondantes de $\log \frac{I_0}{I_z}$:

77° .	72° .	67° .	62° .	57° .	
0,3040	0,2075	0,1460	0,1048	0,0758	(pour Potsdam)
0,1868	0,1228	0,0863	0,0627	0,0466	(pour Sântis)

j'ai trouvé les corrections suivantes pour les coefficients de transparence de l'atmosphère :

77° .	72° .	67° .	62° .	57° .	
— 0,010	— 0,013	— 0,013	— 0,012	— 0,011	(pour Potsdam)
0,0009	0,0007	0,0003	0,0002	0,0001	(pour Sântis)

Comme on le voit, les corrections pour Sântis sont tout à fait insignifiantes, ce qui démontre que l'atmosphère aux sommets des montagnes ne s'écarte pas sensiblement de son état idéal.

Donc, en moyenne, nous avons

$$\begin{aligned} p_1 &= 0,823 & (\text{Potsdam}), \\ p_2 &= 0,879 & (\text{Sântis}). \end{aligned}$$

Ensuite, à l'aide de la formule

$$\log p' = \log p \cdot 10^{\frac{z}{18336}} \left(1 - \frac{Z}{18336} 0,00265 \cos 2\zeta \right),$$

étant donné que

$$\frac{\log p'}{\log p} = \frac{h'}{h},$$

j'ai calculé les valeurs p correspondant à la hauteur de Peira-Cava (1570^m) et celle du Montgros (387^m).

Pour Montgros :

	Poids
$p = 0,828$	2
0,844	1

Pour Peira-Cava :

	Poids.
$p = 0,849$	1
0,864	3

La première valeur est obtenue à l'aide du coefficient de transparence de

l'atmosphère de Potsdam et la seconde de celui de Sântis. Comme Potsdam a une altitude beaucoup plus voisine de celle du Montgros, comme, d'autre part, les deux observatoires se trouvent à proximité de villes et possèdent des conditions atmosphériques plus comparables entre elles qu'avec Sântis, il paraît tout naturel de donner à la première quantité un poids plus grand. Au contraire, Peira-Cava, éloignée de tout lieu habité et située à une altitude considérable, peut être parfaitement, et sous tous les rapports, comparée avec Sântis.

En distribuant les poids comme je viens de l'indiquer, nous avons définitivement :

Pour Montgros :

$$p = 0,833;$$

Pour Peira-Cava :

$$p = 0,860.$$

Enfin, à l'aide de ces valeurs de p , j'ai calculé, suivant la formule de Bouguer, les Tables d'absorption atmosphérique pour le Montgros et Peira-Cava. Pour Meudon, j'ai pris tout simplement la Table d'absorption construite pour Potsdam.

Après avoir ainsi affranchi mes observations de l'absorption atmosphérique, je passai au calcul de la même unité d'intensité de la lampe de comparaison. Il est évident que la lampe électrique du photomètre changeait perpétuellement d'intensité, de sorte que les observations sous leur forme primitive ne sont pas du tout comparables entre elles. Mais, outre le changement d'intensité de la surface artificielle dans le champ de la vision, beaucoup d'autres causes influençaient la clarté de la lumière zodiacale. Ces causes sont : la variation souvent très considérable de la transparence de l'atmosphère, l'éclairage du ciel par les sources de lumière terrestre; enfin, peut-être, la variation irrégulière dans l'intensité de la lumière zodiacale elle-même. Comme l'expérience m'a montré, c'est le fond du ciel qui possède l'intensité la plus constante. Certes, il ne peut pas servir de point de repère, car il est lui-même exposé à des changements irréguliers d'intensité et, en général, à l'influence de toutes les circonstances signalées plus haut; mais toujours à Meudon, près de Paris, comme à Peira-Cava, dont l'altitude est de 1^{km},500, qui est éloignée de tous lieux habités, et comme aussi à Montgros, près de Nice, j'ai constaté un éclat du fond du ciel sensiblement identique. En raison de cela, j'ai résolu de déterminer l'intensité de ma lampe électrique pour chaque soirée d'observations, de façon que la luminosité du ciel soit rigoureusement la même.

F.

Pour cette réduction, j'ai choisi les intensités dans les points suivants, qui se trouvent en dehors du cône apparent de la lumière zodiacale :

Meudon.

25 Février.....	N ^{os} 4, 5, 9, 10, 14, 15, 17, 18
1 ^{er} Mars.....	4, 9, 20, 21
8 Mars.....	4, 8, 18, 22, 23
10 Mars.....	3, 4, 9, 10, 11, 13

Peira-Cava.

24 Mars.....	N ^{os} 7, 8, 12, 13, 14
27 Mars.....	1, 3, 4, 6
30 Mars.....	4, 5, 8, 9
1 ^{er} Avril.....	2, 4

Montgros.

28 Avril.....	N ^{os} 4, 6, 11, 14, 15, 17, 18
29 Avril.....	3, 7, 12, 13, 16, 17, 19
30 Avril.....	4, 5, 8, 11
1 ^{er} Mai.....	4, 5, 9, 10, 13, 16, 18, 19, 21, 22, 23, 24
2 Mai.....	4, 5, 14, 15, 17, 19
6 Mai.....	4, 8, 9, 14

On peut en conclure immédiatement le coefficient par lequel on doit multiplier toutes les intensités observées pour les réduire à la même unité, l'intensité du fond du ciel étant prise pour 10.

En général, les intensités du fond du ciel nocturne ne montrent aucun changement progressif au fur et à mesure de l'avancement de la nuit. Le ciel reste sensiblement de même éclat à la fin du crépuscule comme au milieu de la nuit (1). Mais, en introduisant la correction pour l'absorption atmosphérique, j'ai constaté que les plus basses parties du ciel sont devenues plus lumineuses que les parties supérieures. C'est pourquoi les quantités exprimant l'intensité du ciel près des limites de la lumière zodiacale les plus éloignées du Soleil sont diminuées jusqu'à 8,5 et parfois même au delà.

On peut faire beaucoup d'objections à mes procédés d'observation et de réduction. D'abord, il fallait réaliser un étalon constant d'intensités pour faire des vérifications de constance de la source de lumière dans le photomètre. Il

(1) Parmi les quatorze soirées d'observations, ce n'est que pendant une seule (1^{er} mai) que j'ai constaté une diminution très sensible et assez régulière de la clarté du ciel. Peut-être faut-il rapporter cette circonstance à une sorte de léger brouillard qui couvrait le ciel progressivement et d'une façon imperceptible.

fallait produire les observations sous les tropiques dans les conditions les plus favorables et successivement au niveau de la mer et à une altitude considérable pour avoir la possibilité de déduire des observations mêmes les valeurs exactes du coefficient d'absorption atmosphérique propre à la lumière zodiacale. Malheureusement, tout ceci était pour moi absolument impossible.

Les Tables que je donne ici contiennent les coordonnées écliptiques λ et β des points de la lumière zodiacale dont l'intensité était déterminée, ainsi que trois sortes de valeurs de i représentant respectivement les intensités observées (i), les intensités corrigées pour l'absorption atmosphérique (i') et, enfin, les intensités rapportées à la même unité (i'').

Meudon.

25 FÉVRIER.

 $\odot = 335^{\circ},5$ (la longitude du Soleil).

N ^{os} .	λ .	β .	i .	i' .	i'' .	N ^{os} .	λ .	β .	i .	i' .	i'' .
1...	17,0	0,0	4,25	6,67	26,5	10...	42,0	-18,5	1,66	2,60	10,3
2...	10,5	13,0	3,21	5,02	20,0	11...	33,0	+5,0	2,19	3,44	13,6
3...	20,5	-9,0	2,43	3,81	15,1	12...	31,5	15,5	1,95	3,07	12,2
4...	9,5	25,0	1,95	3,06	12,2	13...	36,5	-2,5	1,95	3,07	12,2
5...	30,0	-17,0	1,47	2,31	9,2	14...	46,0	-15,5	1,57	2,47	9,8
6...	27,0	1,5	2,93	4,59	18,2	15...	28,5	23,0	1,84	2,90	11,5
7...	21,5	10,0	1,84	2,90	11,5	16...	48,0	7,5	1,84	2,33	9,3
8...	37,0	-5,5	1,84	2,90	11,5	17...	43,0	20,0	1,66	2,10	8,4
9...	16,0	+26,0	1,66	2,60	10,3	18...	58,0	-6,5	1,66	2,10	8,4

1^{er} MARS. $\odot = 340^{\circ},5$.

1...	13,0	-1,5	2,19	4,12	25,4	12...	31,5	-7,0	1,33	2,60	11,8
2...	11,0	13,0	1,57	2,96	18,0	13...	24,0	12,0	1,29	2,43	11,9
3...	16,0	-8,5	1,38	2,60	14,8	14...	22,0	20,0	1,21	2,28	13,9
4...	26,5	-21,0	0,97	1,83	10,2	15...	40,5	-16,5	1,05	1,98	12,0
5...	10,0	24,0	1,13	2,13	13,0	16...	31,0	1,0	1,38	2,60	15,9
6...	22,5	-0,5	1,75	3,30	20,0	17...	44,0	-14,0	1,13	2,13	12,0
7...	19,0	10,5	1,47	2,77	16,9	18...	28,5	+15,5	1,21	2,28	13,9
8...	26,0	-6,0	1,29	2,44	13,9	19...	44,0	+5,5	1,21	1,65	10,1
9...	35,0	-17,0	0,88	1,66	10,1	20...	52,0	-7,0	1,05	1,43	8,8
10...	18,0	18,0	1,29	2,43	14,9	21...	40,0	19,0	1,13	1,54	9,4
11...	28,0	1,5	1,47	2,77	16,9						

8 MARS.

 $\odot = 347^{\circ},6$.

1...	18,0	2,0	5,90	10,42	31,1	6...	15,5	19,5	3,07	5,55	16,2
2...	22,0	-5,5	4,25	7,68	22,3	7...	14,5	27,0	3,07	5,55	16,2
3...	29,0	-11,0	2,98	5,39	15,7	8...	39,0	-30,0	1,75	3,17	9,2
4...	35,0	-20,5	1,84	3,32	9,6	9...	31,0	-3,0	4,25	7,68	22,2
5...	17,0	9,5	4,10	7,42	21,6	10...	30,0	2,0	3,80	6,87	19,9

Meudon (suite).

8 MARS. $\odot = 347^{\circ}, 6.$

N ^{os} .	$\lambda.$	$\beta.$	$l.$	$i'.$	$i''.$	N ^{os} .	$\lambda.$	$\beta.$	$i.$	$i'.$	$i''.$
11...	29,0 ⁰	7,5 ⁰	4,25	7,68	22,5	19...	90,0 ⁰	-10,0 ⁰	2,31	2,58	7,5
12...	36,0	-10,5	2,67	4,82	14,0	20...	81,0	-13,0	2,07	2,31	6,8
13...	25,0	17,0	3,07	5,58	16,2	21...	62,0	6,0	2,93	3,42	10,0
14...	81?	-35?	1,47	2,66	7,7	22...	67,0	-6,0	2,80	3,22	9,5
15...	31,0	5,5	3,95	7,13	20,8	23...	66,0	0,0	2,67	3,12	9,1
16...	36,5	-1,5	3,51	6,34	18,5	25...	59,5	-6,0	2,55	3,63	10,5
17...	30,0	13,5	3,66	6,60	19,2	26...	49,0	8,0	2,93	4,16	12,0
18...	11,0	-0,5	2,19	3,95	12,2						

10 MARS. $\odot = 349^{\circ}, 6.$

1...	46,0	-11,0	2,80	3,8-9	12,1	8...	47,0	-2,5	3,07	4,2-7	13,2
2...	35,0	9,0	4,25	5,90	18,3	9...	53,5	-8,5	2,31	3,21	10,0
3...	33,5	17,0	3,36	4,6-5	14,5	10...	80?	-26?	1,84	2,56	7,9
4...	83?	-34?	1,57	2,1-8	6,8	11...	38,5	18,5	2,93	4,06	12,6
5...	43,0	1,0	3,21	4,4-6	13,8	12...	44,0	11,0	3,07	4,27	13,2
6...	38,5	8,5	3,21	4,4-6	13,8	13...	76,0?	-25?	1,90	2,66	8,2
7...	41,0	5,0	3,51	4,8-8	15,1						

Peira-Cava.

24 MARS. $\odot = 3^{\circ}, 5.$

N ^{os} .	$\lambda.$	$\beta.$	$i.$	$i'.$	$i''.$	N ^{os} .	$\lambda.$	$\beta.$	$i.$	$i'.$	$i''.$	
1...	32, ⁰ ₅	9, ⁰ ₀	1-7,5	25,40	6-0,1	8...	57, ⁰ ₅	-13, ⁰ ₀	3,07	4,26	10,1	
2...	36, ₀	2, ₀	1-7,3	25,70	60,9	9...	52, ₅	- 3, ₅	5,45	7,55	17,9	
3...	40, ₀	- 5, ₀	1-0,5	15,60	36,9	10...	52, ₀	3, ₀	6,85	9,50	22,5	
4...	33, ₀	16, ₀	1-0,1	15,00	35,5	11...	48, ₅	10, ₀	5,15	7,15	16,9	
5...	28, ₀	35, ₅	6,25	9,28	22,0	12...	44, ₀	29, ₅	3,66	5,05	12,0	
6...	43, ₅	-15, ₅	5,00	7,44	17,6	13...	(près de α Cassiopée)			3,66	5,05	12,0
7...	84?	-35?	2,19	3,25	7,7	14...	82?	-30?	2,55	3,53	8,4	

27 MARS. $\odot = 6^{\circ}, 5.$

1...	114,5	-16,5	1,7-5	2,07	9,2	4...	114,0	-10,5	1,75	2,07	9,2
2...	101,0	-7,0	2,0-7	2,46	10,9	5...	105,0	-9,5	2,31	2,74	12,2
3...	94,0	21,5	1,66	1,86	8,3	6...	89,0	21,5	2,55	3,01	13,4

28 MARS. $\odot = 7^{\circ}, 5.$

1...	56,0	4,5	4,55	5,82	25,9	3...	115,0	-7,5	1,29	1,44	6,4
2...	62,0	0,0	2,93	3,74	16,6						

Peira-Cava (suite)

30 MARS.

 $\odot = 9^{\circ},4.$

N ^{os} .	$\lambda.$	$\beta.$	$i.$	$i'.$	$i''.$	N ^{os} .	$\lambda.$	$\beta.$	$i.$	$i'.$	$i''.$
1...	57,0 ⁰	0,5 ⁰	3,36	4,80	21,4	6...	66,0 ⁰	4,5 ⁰	2,61	3,15	14,1
2...	61,5	2,5	3,51	4,58	20,5	7...	70,0	— 2,0	2,31	2,78	12,4
3...	64,0	— 1,5	2,55	3,34	14,9	8...	79,5	— 17,0	2,55	3,08	13,7
4...	67,5	— 15,0	1,75	2,29	10,2	9...	87,5	— 16,0	1,52	1,84	8,2
5...			1,47	1,77	7,9	10...	76,0	0,5	1,88	2,27	10,1

1^{er} AVRIL. $\odot = 10^{\circ},4.$

1...	44,0	28,0	5,00	6,90	39,5	3...	100?	— 2?	2,19	2,51	14,4
2...	114,0	— 16,0	1,84	2,11	12,1	4...	81	23	1,21	1,39	7,9

Nice.

28 AVRIL.

 $\odot = 37^{\circ},8.$

N ^{os} .	$\lambda.$	$\beta.$	$i.$	$i'.$	$i''.$	N ^{os} .	$\lambda.$	$\beta.$	$i.$	$i'.$	$i''.$
1...	69,2 ⁰	10,6 ⁰	3,66	6,08	35,5	11...	113,0 ⁰	— 15,5 ⁰	1,37	0,97	8,0
2...	73,5	0,5	2,31	3,84	22,5	12...	93,0	4,0	1,82	1,29	10,6
3...	67,0	13,5	1,75	2,91	17,0	13...	96,5	5,0	1,74	1,25	10,3
4...	90,5	— 17,5	1,21	2,01	11,7	14...	80,0	25,0	1,37	0,97	8,0
5...	50?	+45?	1,13	1,87	11,0	15...	118,5	— 13,0	1,13	0,80	6,6
6...	84,0	— 10,0	1,29	2,15	12,5	16...	104,5	3,5	2,04	1,38	11,9
7...	79,5	— 2,0	1,29	2,15	12,5	17...	116,2	— 7,0	1,91	1,29	11,2
8...	87,5	1,5	1,47	2,07	12,1	18...	87,5	19,5	2,04	1,38	11,9
9...	89,0	5,0	2,07	1,47	12,1	19...	108,0	7,5	2,04	1,38	11,9
10...	76,0	22,0	1,37	0,97	8,0						

29 AVRIL.

 $\odot = 38^{\circ},8.$

1...	76,0	2,5	4,25	6,28	35,7	11...	78,0	11,0	1,05	1,55	12,5
2...	82,5	— 3,0	1,29	1,91	10,8	12...	102,5	— 13,5	0,93	1,37	11,1
3...	92,5	— 16,5	1,21	1,79	10,2	13...	72,0	24,0	0,88	1,30	10,5
4...	73,5	9,5	2,13	3,15	17,9	14...	81,0	11,0	1,09	1,61	13,0
5...	62,5	23,0	2,55	3,77	21,4	15...	100,0	4,0	1,05	1,38	11,2
6...	80,0	4,0	2,19	3,24	18,4	16...	121,5	— 13,0	0,80	1,05	8,5
7...	92,5	— 10,0	1,29	1,91	10,8	17...	87,0	+26,0	1,38	1,82	10,3
8...	71,5	19,0	1,29	1,91	10,8	18...	103,0	5,5	1,47	1,93	11,0
9...	84,0	4,5	1,75	2,59	14,7	19...	120,0	— 10,5	1,17	1,54	8,7
10...	87,0	— 2,5	1,29	1,91	10,8	20...	108,0	6,0	1,47	1,93	11,0

30 AVRIL.

 $\odot = 39^{\circ},8.$

1...	79,0	4,0	4,25	5,98	24,7	5...	70,5	19,5	2,31	3,26	13,5
2...	74,5	11,5	3,51	4,95	20,4	6...	85,0	1,5	3,14	4,43	18,3
3...	89,0	— 4,5	2,98	4,20	17,3	7...	92,0	— 1,0	2,61	3,68	19,1
4...	99,0	— 13,5	2,00	2,82	11,6	8...	106,5	— 18,5	1,84	2,59	10,7

Nice (suite).

30 AVRIL.

 $\odot = 40^{\circ}, 7.$

N ^{os} .	λ .	β .	i .	i' .	i'' .	N ^{os} .	λ .	β .	i .	i' .	i'' .
9...	80,0	11,5	2,43	3,42	14,1	12...	101,0	0,0	1,90	3,03	12,5
10...	90,0	1,5	2,67	3,76	15,5	13...	95,0	7,5	1,70	2,70	11,2
11...	111,5	-18,0	1,66	2,35	9,7						

1^{er} MAI. $\odot = 40^{\circ}, 7.$

1...	72,0	7,0	3,14	4,99	20,3	13...	93,0	-1,0	1,66	2,70	12,7
2...	78,0	-2,0	2,43	3,86	15,7	14...	81,5	13,0	1,42	2,30	10,8
3...	71,0	14,0	2,31	3,68	15,0	15...	111,0	-15,0	1,34	2,18	10,2
4...	90,0	-14,5	1,57	2,50	10,2	16...	73,0	23,0	1,34	2,18	10,2
5...	63,0	21,0	1,52	2,42	9,8	17...	95,0	5,0	1,52	2,48	11,6
6...	79,0	5,0	2,19	3,56	14,5	18...	115,5	-12,5	1,32	2,15	10,1
7...	88,5	-3,0	1,80	2,93	11,9	19...	77,0	23,0	1,25	2,03	9,5
8...	77,5	11,5	1,80	2,93	11,9	20...	98,0	5,0	1,34	2,17	10,7
9...	97,5	-10,5	1,47	2,39	9,7	21...	109,5	14,0	1,17	1,41	10,1
10...	71,5	20,0	1,57	2,55	10,4	22...	121,0	5,5	1,21	1,46	10,4
11...	83,5	5,5	2,07	3,37	15,8	23...	137,0	-7,0	1,09	1,31	9,4
12...	86,0	7,5	1,80	2,93	13,7	24...	112,0	5,0	1,17	1,41	10,1

2 MAI.

 $\odot = 41^{\circ}, 7.$

1...	78,0	3,5	2,31	3,54	20,7	10...	93,5	9,0	1,38	1,79	10,5
2...	82,0	-3,0	1,80	2,76	16,1	11...	105,0	-1,0	1,30	1,69	9,9
3...	74,0	10	1,84	2,82	16,5	12...	85,0	19,0	1,29	1,67	9,8
4...	94,5	-13,0	1,38	2,11	12,4	13...	118,5	-10,0	1,17	1,52	8,9
5...	64,0	23,5	1,34	2,00	11,7	14...	101,0	5,5	1,34	1,74	10,2
6...	84,0	-1,5	1,57	2,40	14,1	15...	94,0	17,5	1,21	1,57	9,2
7...	89?	+ 1?	1,62	2,53	14,8	16...	106,5	8,0	1,21	1,52	8,9
8...	85?	9?	1,66	2,60	15,2	17...	95,0	17,5	1,13	1,42	8,3
9...	96,0	5,5	1,47	1,91	11,2						

3 MAI.

 $\odot = 42^{\circ}, 7.$

1...	89,0	2,0	1,75	2,55	14,4	3...	101,0	-5,0	1,38	2,01	11,4
2...	86,5	7,5	1,75	2,55	14,4	4...	94,0	6,0	1,66	2,41	13,7

6 MAI.

 $\odot = 45^{\circ}, 5.$

1...	83,0	4,0	2,43	4,02	20,5	8...	108,5	-5,5	1,57	2,18	11,0
2...	89,0	-1,0	2,07	3,44	17,4	9...	119,0	-12,5	1,25	1,73	8,8
3...	99,5	3,5	2,01	2,58	13,1	10...	99,0	3,0	1,75	2,42	12,3
4...	113,5	-14,5	1,38	1,96	9,9	11...	99,0	3,0	1,72	2,44	12,4
5...	76,5	19,0	1,57	2,60	13,2	12...	120,0	-0,5	1,43	1,94	12,4
6...	91,0	9,5	1,84	2,76	14,0	13...	110,5	8,5	1,66	2,25	11,4
7...	99,0	3,0	1,75	2,43	12,3	14...	102,0	17,0	1,50	2,03	10,3

RÉSULTATS DÉFINITIFS.

Ayant obtenu les intensités de la lumière zodiacale à des points différents du ciel, j'en ai déduit la Table définitive à double entrée exprimant les intensités observées en fonction de la latitude et de la différence des longitudes entre le point visé et le Soleil. La méthode la plus naturelle pour construire cette Table et donner la synthèse de toutes mes observations me paraît la suivante :

J'ai porté sur un réseau les chiffres exprimant l'intensité de la lumière zodiacale pour les latitudes et les distances données du Soleil et j'ai pu ainsi voir sur une même carte la représentation de toutes mes observations pour Meudon, Peira-Cava et Montgros séparément. Les chiffres sont parfois discordants, mais dans tous les cas ils représentent bien l'aspect général du phénomène et ils permettent d'en déduire l'intensité de la lumière zodiacale presque dans toutes ses parties.

Donc, j'en déduisis tout d'abord l'intensité le long de l'écliptique et le long des cercles parallèles correspondant aux $\beta = \pm 4^\circ, \pm 8^\circ, \pm 12^\circ$, etc., respectivement, ayant égard aux poids dont sont affectés les chiffres donnés suivant les circonstances des observations. Pour atténuer les erreurs des données et déduire une série régulière des chiffres représentant la marche continue et régulière de l'intensité dans la lumière zodiacale, il est nécessaire d'employer un procédé quelconque d'interpolation, et comme mes données ne sont pas très exactes à cause de la nature même de la question, l'interpolation la plus commode à faire est ici l'interpolation graphique. Donc, j'ai tracé pour l'écliptique et pour chacun de mes cercles parallèles les courbes représentant la distribution de l'intensité, et en relevant leurs ordonnées j'ai construit enfin mes Tables d'intensité. Seulement pour Peira-Cava, à cause du nombre trop petit d'observations, je n'ai pas réussi à déduire une Table complète. Ces Tables sont les suivantes :

Meudon.

$l = \lambda - \odot.$	$\beta = -20^\circ.$	$-16^\circ.$	$-12^\circ.$	$-8^\circ.$	$-4^\circ.$	$0^\circ.$	$4^\circ.$	$8^\circ.$	$12^\circ.$	$16^\circ.$	$20^\circ.$	$24^\circ.$
30 ⁰	»	»	»	»	26,0	32,0	28,5	24,5	21,5	18,0	16,5	12,5
34.....	»	»	»	17,5	23,5	29,0	26,0	22,5	19,0	17,0	15,5	11,5
38.....	»	»	15,0	16,5	21,5	25,5	23,5	20,0	17,5	16,0	14,5	11,0
42.....	»	12,0	14,0	15,5	19,5	22,0	20,5	18,0	16,0	14,5	13,5	10,5
46.....	10,5	11,0	13,0	15,0	17,5	19,5	18,0	16,5	14,5	13,5	12,5	10,0
50.....	10,0	10,5	11,5	13,5	16,0	17,5	16,5	14,5	13,0	12,5	11,5	9,5
54.....	10,0	10,0	10,5	12,0	13,5	15,0	14,5	13,0	12,0	11,5	11,0	9,5
58.....	9,5	10,0	10,0	11,0	12,0	12,5	12,0	11,5	11,5	11,0	10,0	9,5

Meudon (suite).

$l = \lambda - \odot.$	$\beta = -20^\circ. \quad -16^\circ. \quad -12^\circ. \quad -8^\circ. \quad -4^\circ. \quad 0^\circ. \quad 4^\circ. \quad 8^\circ. \quad 12^\circ. \quad 16^\circ. \quad 20^\circ. \quad 24^\circ.$											
⁰												
62.....	9,5	9,5	10,0	10,5	11,0	11,5	11,0	10,5	10,5	10,0	9,5	9,0
66.....	9,5	9,5	9,5	10,0	10,0	10,5	10,5	10,0	10,0	9,5	9,5	9,0
70.....	9,0	9,0	9,5	9,5	9,5	10,0	10,0	9,5	9,5	9,0	9,0	9,0
74.....	9,0	9,0	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,0	9,0	»
78.....	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,5	9,5	9,0	9,0	9,0	9,0	»
82.....	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	»
86.....	8,5	8,5	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	8,5	8,5	»
90.....	8,5	8,5	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	8,5	8,5	»

Peira-Cava.

$l = \lambda - \odot.$	$\beta = -10^\circ.$	$-5^\circ.$	$0^\circ.$	$+5^\circ.$
⁰				
30.....	»	»	60	»
35.....	»	»	46	»
40.....	20	25	35	»
45.....	15	23	27	25
50.....	12	17	21	19
55.....	11	14	16	17
60.....	10	12	12	13
65.....	10	11	11	11
70.....	10	10	10	10
75.....	10	10	10	10
80.....	10	10	10	10

Montgros (Nice).

$l = \lambda - \odot.$	$\beta = -16^\circ. \quad -12^\circ. \quad -8^\circ. \quad -4^\circ. \quad 0^\circ. \quad 4^\circ. \quad 8^\circ. \quad 12^\circ. \quad 16^\circ. \quad 20^\circ.$										
⁰											
30.....	»	»	»	»	»	»	23,5	18,0	13,0	12,5	
34.....	»	»	»	»	25,0	25,5	20,0	15,5	12,0	11,5	
38.....	»	»	»	17,0	21,5	22,0	17,5	13,5	11,0	11,0	
42.....	»	»	12,5	15,0	18,0	18,0	15,0	12,5	10,5	10,5	
46.....	»	11,5	12,0	13,5	16,5	16,5	13,0	12,0	10,0	10,0	
50.....	10,5	10,5	11,0	12,5	14,5	14,0	12,5	11,0	10,0	10,0	
54.....	10,5	10,5	10,5	11,5	13,0	13,0	12,0	10,5	10,0	10,0	
58.....	10,0	10,0	10,5	11,0	12,5	12,5	11,0	10,0	10,0	10,0	
62.....	9,5	10,0	10,0	10,5	12,0	11,5	10,5	10,0	10,0	9,5	
66.....	9,5	10,0	10,0	10,0	11,5	11,0	10,0	10,0	9,5	9,5	
70.....	9,0	9,5	10,0	10,0	11,0	10,5	10,0	9,5	9,5	»	
74.....	9,0	9,5	9,5	9,5	10,0	10,0	9,5	9,5	»	»	
78.....	9,0	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	»	»	
82.....	9,0	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	»	»	»	
86.....	8,5	9,0	9,0	9,0	9,5	9,5	9,0	»	»	»	
90.....	8,5	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	»	»	»	»	

Ces Tables conduisent immédiatement aux conclusions suivantes :

La lumière zodiacale observée à Meudon aux mois de février-mars, comme au Montgros aux mois d'avril-mai, présente quelques différences tant au point de vue de la position qu'à celui de l'extension et de l'éclat, mais toujours le caractère de la distribution de l'intensité reste complètement le même. L'axe de la lumière zodiacale est parallèle à l'écliptique en dépit des apparences. S'il est incliné vers l'écliptique, cette inclinaison reste totalement insensible sur mes graphiques. Mais alors qu'aux mois de février et de mars (Meudon) l'axe de la lumière zodiacale était situé à la distance $\beta = 1^\circ$ au nord de l'écliptique, aux mois d'avril et de mai (Montgros) il était à 2° . La distribution de l'intensité était absolument symétrique par rapport à l'axe de la lumière zodiacale dans les deux cas. Mais en février et mars, la lumière zodiacale était sensiblement plus étendue et plus brillante qu'en avril et mai.

On peut se demander si ce résultat provient de quelques insuffisances dans la réduction des observations. En avril-mai la lumière zodiacale se trouve, en effet, dans des conditions d'observation beaucoup moins favorables qu'en mars. Mais cette supposition ne me paraît pas être justifiée, car la différence des corrections était encore plus sensible pour les parties de la lumière zodiacale situées à une même distance du Soleil que celle concernant un point quelconque relatif aux différentes époques des observations ; et malgré cela, la courbe représentant la distribution de l'intensité dans le cône de la lumière zodiacale à la même distance du Soleil est tout à fait symétrique par rapport à son axe, ainsi que l'on pourrait s'y attendre.

Donc, nos Tables montrent de plus que, probablement, l'aspect et l'intensité de la lumière zodiacale varient lentement d'un mois à l'autre, ce qui dépend de la lumière zodiacale elle-même ou de la position de la Terre sur son orbite. Ensuite, elles mettent en évidence toute l'importance de la correction pour l'absorption atmosphérique, ainsi que la différence entre l'aspect apparent et l'aspect réel de la lumière zodiacale. En effet, tandis que l'axe réel du cône est situé, d'après ces Tables, le long d'un cercle parallèle à l'écliptique ($\beta = 1^\circ, 2^\circ$), son axe apparent peut s'écarter jusqu'à 10° à partir de l'écliptique ; il est presque toujours incliné d'une façon sensible sur cette dernière. Tandis que le bord austral du cône *apparent* est incomparablement plus net que son contour nord, les Tables montrent, au contraire, une symétrie parfaite. Étant donné que les causes qui influencent le phénomène sont permanentes et qu'elles produisent des erreurs toujours dans le même sens, nous avons le droit de nous demander quelle valeur peuvent avoir les conclusions relatives à la position de la lumière zodiacale si l'on fait abstraction de ces circonstances.

La Table d'intensité construite pour Peira-Cava mérite d'être mentionnée particulièrement. A cette grande altitude, la lumière zodiacale présente une luminosité extraordinaire. A la distance de 30° du Soleil, elle paraît, à Peira-Cava, six fois plus brillante que le fond du ciel nocturne et deux fois plus brillante qu'elle ne paraît à Meudon. Pour les autres distances du Soleil, la différence est aussi très notable. On peut se demander d'où provient cette différence qui persiste, même après nos corrections relatives à l'absorption atmosphérique. D'abord, il est très important de noter que toutes les observations à Peira-Cava ont été faites dans des conditions extrêmement défavorables et contiennent de très sensibles erreurs. Il me semble que les chiffres de la Table mentionnée entre 30° et 40° à partir du Soleil, déduits des observations faites d'une seule soirée, ont été influencés par le crépuscule.

Les autres chiffres présentant toutefois un écart considérable en comparaison avec les résultats de Meudon et surtout avec ceux du Montgros, j'ai cherché à y trouver une explication en supposant que mes corrections n'étaient pas suffisantes. Si, en effet, la lumière zodiacale émet plutôt des rayons de courte longueur d'onde, ceux-ci doivent être absorbés par l'atmosphère plus fortement et, par conséquent, l'intensité apparente du phénomène en question doit devenir de plus en plus grande au fur et à mesure que croît l'altitude du lieu d'observation. Pour justifier cette opinion, j'ai refait toutes mes réductions en partant des diverses valeurs du coefficient de transparence de l'atmosphère, et en supposant toujours que l'intensité du fond du ciel nocturne, corrigée par l'absorption de l'atmosphère, est la même pour toutes les altitudes. En passant aux plus petites valeurs du coefficient de transparence, on peut remarquer un rapprochement des résultats de Meudon de ceux de Peira-Cava, rapprochement qui, toutefois, est loin d'être suffisant. Donc, je ne vois aucune explication satisfaisante, à moins de supposer que la lumière zodiacale ait subi elle-même une augmentation d'intensité à Peira-Cava, ce qui, du reste, n'est pas impossible. En général, je répète que les observations photométriques assez nombreuses faites avec étalon de lumière absolument sûr, et à des altitudes différentes, peuvent seules éclaircir complètement la question.

Pour avoir une Table moyenne d'usage courant, j'ai réuni des observations assez nombreuses et suffisamment concordantes. La Table suivante représente les valeurs moyennes de l'intensité de la lumière zodiacale et donne à peu près son aspect moyen.

$l = \lambda - \odot$.	$\beta = -16^\circ$.	-12° .	-8° .	-4° .	0° .	$+4^\circ$.	$+8^\circ$.	$+12^\circ$.	$+16^\circ$.	$+20^\circ$.
30°	»	»	»	»	»	»	24,0	20,0	15,5	14,5
34°	»	»	»	»	27,0	26,0	21,0	17,0	14,5	13,5
38°	»	»	»	19,0	23,5	23,0	19,0	15,5	13,5	13,0
42°	»	»	14,0	17,0	20,0	19,0	16,5	14,0	12,5	12,0
46°	»	12,0	13,5	15,5	18,0	17,0	15,0	13,0	12,0	11,5
50°	10,5	11,0	12,0	14,0	16,0	15,0	13,5	12,0	11,0	11,0
54°	10,5	10,5	11,0	12,5	14,0	14,0	12,5	11,0	11,0	10,5
58°	10,0	10,0	11,0	11,5	12,5	12,0	11,0	10,5	10,5	10,0
62°	9,5	10,0	10,5	11,0	12,0	11,0	10,5	10,0	10,0	9,5
66°	9,5	10,0	10,0	10,5	11,0	10,5	10,0	10,0	9,5	9,5
70°	9,0	9,5	9,5	10,0	10,5	10,0	9,5	9,5	9,0	9,0

Afin d'utiliser cette Table au point de vue des recherches théoriques, il est très avantageux de la représenter par une seule formule donnant l'intensité i en fonction de deux variables indépendantes, la latitude β et la distance angulaire au Soleil $l = \lambda - \odot$.

Ce problème est évidemment très difficile à résoudre. Imaginons qu'en chaque point d'un plan déterminé par deux coordonnées rectangulaires β et l , nous ayons mené une normale à ce plan sur laquelle serait portée la valeur correspondante de i . Les extrémités de toutes ces normales seront situées sur une surface de forme assez compliquée. Le maximum de l'élévation de cette surface par rapport au plan correspond aux plus petites valeurs absolues de l et de β . Au fur et à mesure de l'augmentation de l et de β , elle s'approche d'une façon presque asymptotique d'un plan parallèle au premier. Il faut trouver l'équation de cette surface, résolue par rapport à i .

En général, ce problème n'a pas de solution, car une surface quelconque ne peut être toujours exprimée analytiquement. Mais, dans notre cas, la question se simplifie beaucoup par le fait que tous les nombres i de la Table qui doivent être représentés ne sont qu'approximatifs.

A ce point de vue, le problème admet beaucoup de solutions. Il peut être énoncé de la façon suivante :

« Trouver la plus simple équation, résolue par rapport à i et représentant notre Table d'intensité à l'intérieur des limites des erreurs de ses chiffres. »

Je dis que l'équation cherchée est de la forme

$$i = 13,8 - 0,08 \operatorname{arc tang}[0,045(l - 34^\circ)] + \{13,7 - 0,2 \operatorname{arc tang}[0,0625(l^0 - 34^\circ)]\} \\ \times [\cos 4(\beta - 1^\circ, 5)]^{6,6 \sin(l + 20^\circ)} = f(s, l) = f(\beta - 1^\circ, 5, l) \quad (1),$$

où

$$34^\circ \leq l \leq 60^\circ, \quad -20^\circ \leq \beta \leq 20^\circ.$$

(1) Les nombres sous les signes $\operatorname{arc tang}$ sont déjà exprimés en radians au moyen du facteur numérique qui se trouve devant la différence $l^0 - 34^\circ$.

Il s'agit maintenant de la démontrer. J'ai envisagé d'abord seulement la variation d'intensité le long des cercles de longitude, c'est-à-dire la variation en fonction de β seul, donnant à l les valeurs constantes déterminées, à savoir $l = 34^\circ, 42^\circ, 50^\circ$ et 58° .

On devra obtenir une fonction de β seul qui comprenne un certain nombre de paramètres variant, en général, suivant les valeurs de l . Ces formules, pour les diverses valeurs de l , une fois établies, il faudra déterminer tous les paramètres en fonction de l seul. La représentation analytique de la surface se réduit donc à une représentation de courbes.

Envisageant le changement de l'intensité avec β , j'ai imaginé qu'il peut être représenté par une fonction de cosinus. Pour des raisons qu'il est inutile d'exposer ici, j'ai pris la formule approchée que voici :

$$i_\beta = k + n[\cos c(\beta - a)]^b,$$

où k est l'intensité du fond du ciel, n l'excès de l'intensité de la lumière zodiacale à son axe sur l'intensité du fond du ciel nocturne, a la latitude de l'axe de la lumière qui est égale à $1^\circ, 5$ et ensuite c et b certains paramètres. Le premier (c) fut choisi de façon que le changement de β entre les limites -20° et 20° soit suffisant pour obtenir tous les points de la courbe. Quant à b , qui détermine principalement le caractère de la courbe, je l'ai directement trouvé égal à environ 5 ou 6.

Les formules approchées étant établies, il n'est pas difficile de déduire les corrections différentielles relatives à tous les paramètres. Mais ayant remarqué que le caractère de la courbe dépend surtout des valeurs n , b et k , j'ai cherché les corrections pour ces seuls nombres. Comme $dx = -dn$, il est facile de trouver la formule suivante pour les corrections cherchées :

$$\begin{aligned} n[\cos 4(\beta - 1^\circ, 5)]^b \log \cos 4(\beta - 1^\circ, 5) [0,362] db + \{1 - [\cos 4(\beta - 1^\circ, 5)]^b\} dk \\ = i - \{k + n[\cos 4(\beta - 1^\circ, 5)]^b\}. \end{aligned}$$

Pour les formules approchées, j'ai pris les expressions

$$\begin{aligned} l = 34^\circ, \quad i &= 13,5 + 14,0[\cos 4(\beta - 1^\circ, 5)]^5; \\ l = 42^\circ, \quad i &= 12,0 + 8,2[\cos 4(\beta - 1^\circ, 5)]^5; \\ l = 50^\circ, \quad i &= 11,0 + 5,0[\cos 4(\beta - 1^\circ, 5)]^6; \\ l = 58^\circ, \quad i &= 10,0 + 2,5[\cos 4(\beta - 1^\circ, 5)]^6, \end{aligned}$$

qui représentent déjà assez bien les observations.

Calculant les coefficients de ces équations pour toutes les valeurs de β tirées

de ma Table et en résolvant ces équations par la méthode des moindres carrés, j'ai trouvé les formules définitives que voici :

$$\begin{aligned} l = 34^\circ, \quad i &= 13,8 + 13,7 [\cos 4(\beta - 1^\circ, 5)]^{5,38}; \\ l = 42^\circ, \quad i &= 12,2 + 8,0 [\cos 4(\beta - 1^\circ, 5)]^{5,86}; \\ l = 50^\circ, \quad i &= 10,9 + 5,1 [\cos 4(\beta - 1^\circ, 5)]^{6,12}; \\ l = 58^\circ, \quad i &= 10,1 + 2,4 [\cos 4(\beta - 1^\circ, 5)]^{6,50}, \end{aligned}$$

représentant les valeurs observées de la façon suivante :

	-16°.	-12°.	-8°.	-4°.	0°.	4°.	8°.	12°.	16°.	20°.	Valeurs
$l = 34^\circ \dots$	»	»	»	»	27,0	26,0	21,0	17,0	14,5	13,5	observées
	»	»	»	»	27,1	26,4	21,5	16,6	14,3	13,8	calculées
$l = 42^\circ \dots$	»	»	14,0	17,0	20,0	19,0	16,5	14,0	12,5	12,0	observées
	»	»	14,2	17,3	20,0	19,5	16,5	13,6	12,4	12,2	calculées
$l = 50^\circ \dots$	10,5	11,0	12,0	14,0	16,0	15,0	13,5	12,0	11,0	11,0	observées
	10,9	11,1	12,1	14,1	15,9	15,5	13,6	11,7	11,0	10,9	calculées
$l = 58^\circ \dots$	10,0	10,0	11,0	11,5	12,5	12,0	11,0	10,5	10,5	10,0	observées
	10,1	10,2	10,6	11,6	12,4	12,3	11,3	10,5	10,1	10,1	calculées

Cette représentation est tout à fait suffisante, car on ne rencontre jamais dans cette petite Table des différences plus grandes que 0,5 ; elles sont ordinairement beaucoup plus petites, alors que les erreurs dans les chiffres donnés peuvent atteindre 0,5 et même, peut-être, dépasser cette valeur.

Maintenant il reste encore à trouver les formules représentant les coefficients en fonction de la distance angulaire du Soleil. Le coefficient b varie dans des limites assez étroites ; pour déduire la courbe représentant ses valeurs, nous n'avons pas besoin de calculer les quantités intermédiaires. Mais pour la représentation exacte des coefficients n et k , quatre nombres seulement n'ont pas suffi. Comme la signification physique de ces nombres est connue, nous pouvons les prendre dans notre Table moyenne pour tous les intermédiaires.

J'ai trouvé ainsi, par la variation des coefficients b , que leur marche peut être tout simplement représentée par une partie de sinuséide. Après quelques transformations, on arrivera à une formule très simple à deux paramètres :

$$b = 6,6 \sin(l + 20^\circ).$$

Pour n et k , le calcul est plus compliqué. Un grand nombre de courbes fut essayé sans succès ; ensuite, je fus obligé de m'arrêter sur une fonction de la forme arc tang représentant tout à fait suffisamment la marche de n et de k . La représentation de n pourrait être encore plus exacte si l'on introduisait une puissance déterminée d'arc tang ; mais je ne voulais pas sans besoin rendre plus compliquée mon équation, qui n'était déjà pas simple.

En introduisant les corrections dans les coefficients, j'ai obtenu les formules sous la forme définitive suivante :

$$k = 13,8 - 0,08 \text{ arc tang}[0,045 (l - 34^\circ)],$$

$$n = 13,7 - 0,2 \text{ arc tang}[0,0625(l - 34^\circ)],$$

d'où il dérive la formule générale annoncée plus haut.

La Table suivante donne la comparaison des valeurs n , k et b , calculées selon mes formules empiriques et trouvées directement des observations.

l .	k		n		b	
	calculé.	observé.	calculé.	observé.	calculé.	observé.
34 ⁰	13,8	13,8	13,7	13,7	5,34	5,38
36.....	13,3		12,2		5,48	
38.....	12,9	13,2	10,9	10,6	5,60	
40.....	12,5		9,6		5,72	
42.....	12,2	12,2	8,4	8,0	5,83	5,86
44.....	11,8		7,4		5,93	
46.....	11,5	11,5	6,4	6,5	6,03	
48.....	11,2		5,5		6,12	
50.....	10,9	10,9	4,7	5,1	6,20	6,12
52.....	10,6		4,0		6,27	
54.....	10,4	10,5	3,4	3,5	6,34	
56.....	10,2		2,9		6,40	
58.....	10,0	10,1	2,4	2,4	6,45	6,50
60.....	9,9		1,9		6,49	

Pour les applications courantes, j'ai calculé ma formule générale pour toutes les valeurs de l depuis 34° jusqu'à 60° , de deux en deux degrés, et pour toutes les valeurs $s = \beta - 1^\circ, 5$, de la distance de l'axe du cône. Comme la distribution de l'intensité est parfaitement symétrique par rapport à l'axe de la lumière zodiacale, cette Table est valable également pour des s positifs ou négatifs :

l .	$s = 0^\circ$.	2°.	4°.	6°.	8°.	10°.	12°.	14°.	16°.	18°.	20°.
34 ⁰	27,5	26,9	24,9	27,3	19,4	17,1	15,4	14,4	14,0	13,8	13,8
36.....	25,5	24,9	23,1	20,7	18,2	16,1	14,7	13,8	13,4	13,3	13,3
38.....	23,8	23,2	21,6	19,5	17,2	15,3	14,1	13,3	13,0	12,9	12,9
40.....	22,1	21,6	20,2	18,2	16,2	14,6	13,5	12,8	12,6	12,5	12,5
42.....	20,6	20,2	18,9	17,2	15,4	14,0	13,0	12,5	12,3	12,2	12,2
44.....	19,2	18,8	17,7	16,1	14,6	13,3	12,5	12,0	11,9	11,8	11,8
46.....	17,9	17,6	16,5	15,2	13,9	12,8	12,1	11,7	11,5	11,5	11,5
48.....	16,7	16,4	15,5	14,4	13,2	12,3	11,7	11,4	11,2	11,2	11,2
50.....	15,6	15,3	14,6	13,6	12,6	11,8	11,3	11,0	10,9	10,9	10,9
52.....	14,6	14,4	13,7	12,9	12,0	11,3	10,9	10,7	10,6	10,6	10,6
54.....	13,8	13,6	13,0	12,3	11,6	11,0	10,7	10,5	10,4	10,4	10,4
56.....	13,1	12,9	12,5	11,8	11,2	10,7	10,4	10,3	10,2	10,2	10,2
58.....	12,4	12,3	11,9	11,3	10,8	10,4	10,2	10,1	10,0	10,0	10,0
60.....	11,8	11,7	11,4	11,0	10,5	10,2	10,0	9,9	9,9	9,9	9,9

MÉTHODES DE RÉDUCTION DES OBSERVATIONS ORDINAIRES.

A l'aide des résultats que nous venons d'obtenir, nous montrerons maintenant comment les observations ordinaires de la lumière zodiacale peuvent être affranchies de l'influence redoutable qu'exerce l'absorption atmosphérique sur la position de l'axe du cône; nous évaluerons ensuite la grandeur de cette influence. Deux cas sont à considérer :

1° Les observations donnent la position de l'axe apparent, c'est-à-dire le lieu géométrique des points d'intensité maxima situés à de diverses distances du Soleil.

2° Les observations donnent le contour du cône de la lumière zodiacale, ou, ce qui revient au même, les lignes d'égale intensité.

1° L'axe apparent est donné.

Soit un point de latitude β , se trouvant sur l'axe apparent du cône de la lumière zodiacale à une distance déterminée du Soleil, et appelons x la latitude de l'axe réel du cône à la même distance du Soleil. Il s'agit de trouver la correction $\beta - x$.

La Table que nous venons de construire donne pour chaque valeur de s correspondant à un l déterminé une quantité $f(s)$, proportionnelle à l'intensité de ce point

$$i = k f(s)$$

ou bien

$$i = k f(\beta - x).$$

On a, suivant la théorie connue de l'absorption atmosphérique,

$$\log \frac{i}{i_z} = -\log p \left(\frac{l}{l_0} - 1 \right),$$

où i_z est l'intensité à la distance zénithale z , i la même intensité réduite au zénith, l et l_0 les chemins parcourus par les rayons lumineux dans l'atmosphère supposée homogène de densité égale à celle des couches voisines de la surface terrestre et enfin p le coefficient de transparence de l'atmosphère.

Cette formule donne

$$i_z = i e^{-\Phi(z)},$$

où

$$\Phi(z) = -\log p \left(\frac{l}{l_0} - 1 \right) > 0.$$

Les nombres de notre Table sont affranchis de l'absorption atmosphérique variable, c'est-à-dire qu'ils sont réduits au zénith.

L'intensité apparente sera donc

$$i_z = k f(\beta - x) e^{-\Phi(z)}.$$

Or, i_z est, suivant notre supposition, le maximum d'intensité à la même distance du Soleil. Il en résulte que

$$\frac{\partial i_z}{\partial \beta} = 0 = k f'(\beta - x) e^{-\Phi(z)} - k f(\beta - x) e^{-\Phi(z)} \Phi'(z) \frac{\partial z}{\partial \beta}$$

ou bien

$$\frac{f'(\beta - x)}{f(\beta - x)} = \Phi'(z) \frac{\partial z}{\partial \beta}.$$

Dans cette équation, la seule inconnue est x , la latitude de l'axe vrai de la lumière zodiacale. Cherchons l'expression pour le terme du second membre de cette équation et, pour cela, exprimons tout d'abord la distance zénithale z en fonction des coordonnées écliptiques.

Imaginons un système d'axes rectangulaires, l'axe des z étant dirigé vers le pôle de l'écliptique, l'axe des x vers le point de l'équinoxe du printemps et l'axe des y vers le point qui a comme longitude 90° .

Les coordonnées rectangulaires sont :

$$\begin{aligned} x &= \cos \beta \cos \lambda \\ y &= \cos \beta \sin \lambda, \\ z &= \sin \beta. \end{aligned}$$

Dirigeons maintenant l'axe des z vers le pôle de l'équateur, l'axe des x restant sans changement.

Les nouvelles coordonnées x' , y' , z' sont liées aux précédentes par les relations

$$\begin{aligned} x' &= x, \\ y' &= y \cos \varepsilon - z \sin \varepsilon, \\ z' &= y \sin \varepsilon + z \cos \varepsilon, \end{aligned}$$

ε étant l'inclinaison de l'écliptique vers l'équateur.

Ensuite, laissant l'axe des z invariable, amenons l'axe des x dans le plan du méridien, en faisant tourner le système autour de l'axe des z de l'angle ϑ . Alors

$$\begin{aligned} x'' &= x' \cos \vartheta - y' \sin \vartheta, \\ y'' &= x' \sin \vartheta + y' \cos \vartheta \\ z'' &= z', \end{aligned}$$

où $\mathfrak{S}$ est le temps sidéral. Il reste maintenant à diriger l'axe des z vers le zénith en tournant le système autour de l'axe des y de l'angle $90^\circ - \varphi$ pour obtenir les formules

$$\begin{aligned}x''' &= x'' \sin \varphi - y'' \cos \varphi, \\y''' &= y'', \\z''' &= x'' \cos \varphi + z'' \sin \varphi,\end{aligned}$$

où φ est la latitude géographique du lieu de l'observation.

Les coordonnées x''' , y''' , z''' peuvent être exprimées en fonction de l'azimut A et de la distance zénithale z de la façon suivante :

$$\begin{aligned}x''' &= \cos A \sin z, \\y''' &= \sin A \sin z, \\z''' &= \cos z.\end{aligned}$$

En substituant de proche en proche ces formules dans le dernier groupe, nous obtiendrons sans difficulté la relation suivante :

$$\begin{aligned}\cos z &= \cos \beta \sin \lambda \sin \varepsilon \sin \varphi + \sin \beta \cos \varepsilon \sin \varphi \\&+ \cos \mathfrak{S} \cos \beta \cos \lambda \cos \varphi - \sin \mathfrak{S} \cos \varphi \sin \beta \sin \varepsilon + \sin \mathfrak{S} \cos \varphi \cos \beta \sin \lambda \cos \varepsilon.\end{aligned}$$

A l'aide de cette formule, nous pouvons calculer la distance zénithale z pour toutes les valeurs de β , λ et $\mathfrak{S}$. Pour la dérivée $\frac{\partial z}{\partial \beta}$ nous avons, en différentiant cette relation,

$$\begin{aligned}\sin z \frac{\partial z}{\partial \beta} &= -\cos \beta (\cos \varepsilon \sin \varphi - \sin \mathfrak{S} \cos \varphi \sin \varepsilon) \\&+ \sin \beta (\sin \lambda \sin \varepsilon \sin \varphi + \cos \mathfrak{S} \cos \lambda \cos \varphi + \sin \mathfrak{S} \cos \varphi \sin \lambda \sin \varepsilon).\end{aligned}$$

Considérons maintenant un triangle sphérique ayant pour sommets le pôle de l'équateur, le zénith et le pôle de l'écliptique.

Nous en tirons :

$$\begin{aligned}\cos i &= \cos \varepsilon \sin \varphi - \sin \varepsilon \cos \varphi \sin \mathfrak{S}, \\ \sin i \cos Q &= \sin \varphi \sin \varepsilon + \cos \varphi \cos \varepsilon \sin \mathfrak{S}, \\ \sin i \sin Q &= \cos \varphi \cos \mathfrak{S},\end{aligned}$$

où i est l'inclinaison de l'écliptique vers l'horizon et Q la différence des longitudes des pôles de l'équateur et du zénith.

Les expressions précédentes deviennent, avec les quantités auxiliaires, les suivantes :

$$\cos z = \cos \beta \sin i \sin (\lambda + Q) + \sin \beta \cos i$$

et

$$\sin z \frac{\partial z}{\partial \beta} = -\cos \beta \cos i + \sin \beta \sin i \sin(\lambda + Q),$$

qui ne sont pas compliquées.

Pour faciliter les calculs, remarquons que, pour un lieu d'observations donné, i et Q sont exprimés en fonction d'une seule variable ϑ , de sorte qu'il n'est pas difficile de calculer une Table donnant directement ces quantités pour toutes les valeurs de ϑ . De plus, comme l'axe de la lumière zodiacale est toujours situé près de l'écliptique, la valeur β est assez petite; la distance zénithale d'un point situé sur l'écliptique et à la même distance du Soleil est donnée par la formule

$$\cos z_0 = \sin i \sin(\lambda + Q);$$

elle est très voisine de z .

Mais z_0 étant fonction de deux variables λ et ϑ , peut être, lui aussi, donné par une Table à double entrée ou bien être calculé directement.

Donc, nos formules se présentent maintenant sous la forme suivante :

$$\begin{aligned} \cos z &= \cos \beta \cos z_0 + \sin \beta \cos i, \\ \sin z \frac{\partial z}{\partial \beta} &= -\cos \beta \cos i + \sin \beta \cos z_0, \end{aligned}$$

ou, en développant en série, nous en arrivons facilement aux formules définitives

$$z = z_0 - \beta \frac{\cos i}{\sin z_0} + \left[0,0087 \beta^2 \cot z_0 \left(1 - \frac{\cos^2 i}{\sin^2 z_0} \right) + \dots \right],$$

et

$$\frac{\partial z}{\partial \beta} = -\frac{\cos i}{\sin z} + \left(0,0174 \beta \cot z + 0,00015 \beta^2 \frac{\cos i}{\sin z} + \dots \right)$$

β étant exprimé en degrés, et les termes qui se trouvent entre parenthèses peuvent être presque toujours négligés.

Ayant trouvé z et $\frac{\partial z}{\partial \beta}$, montrons comment on peut calculer les fonctions $\Phi(z)$ et $\Phi'(z)$.

Nous avons posé

$$\Phi(z) = -\log p \left(\frac{l}{l_0} - 1 \right),$$

où, d'après la théorie de Bouguer,

$$\frac{l}{l_0} = \sec z - \frac{l_0}{2a} \frac{\tan^2 z}{\cos z} + \left(l_0 - \frac{1}{3} a \cos^2 z \right) \frac{l_0 \tan^2 z}{2a^2 \cos^3 z} + \dots,$$

c'est-à-dire

$$\frac{l}{l_0} = \sec z - \frac{2}{3} \frac{l_0}{a} \frac{\tan^2 z}{\cos z} + \frac{1}{2} \left(\frac{l_0}{a} \right)^2 \frac{\tan^2 z}{\cos^3 z} + \dots$$

C'est le développement de $\frac{l}{l_0}$ suivant les puissances de $\frac{l_0}{a}$, où a est le rayon moyen de la Terre. En différentiant la dernière expression, nous obtenons

$$\frac{\partial \left(\frac{l}{l_0} \right)}{\partial z} = \frac{\tan z}{\cos z} - \frac{2}{3} \frac{l_0}{a} \left(\frac{2 \tan z}{\cos^3 z} + \frac{\tan^3 z}{\cos z} \right) + \frac{1}{2} \left(\frac{l_0}{a} \right)^2 \left(\frac{2 \tan z}{\cos^5 z} + \frac{3 \tan^3 z}{\cos^3 z} \right) + \dots$$

formule que nous pouvons transformer en

$$\frac{\partial \left(\frac{l}{l_0} \right)}{\partial z} = \frac{\tan z}{\cos z} \left[1 - A(2 + 3 \tan^2 z) + B \frac{2 + 5 \tan^2 z}{\cos^2 z} + \dots \right],$$

où, ayant égard que $a = 6371000^m$ et $l_0 = 8000^m$, nous avons, pour les coefficients A et B, les valeurs suivantes :

$$\log A = 6,9228_{-10}, \quad \log B = 3,8967_{-10};$$

il vient

$$\Phi(z) = -\log p \left(\frac{l}{l_0} - 1 \right) \quad \text{et} \quad \Phi'(z) = -\log p \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{l}{l_0} \right).$$

Pour les calculs étendus, il faut naturellement mettre ces expressions sous forme de Tables qui diffèrent suivant la localité.

Donc nous pouvons admettre que, dès que les observations sont complètes, c'est-à-dire dès que ϖ , λ et β sont connues, le second membre de notre équation

$$\frac{f'(\beta - x)}{f(\beta - x)} = \Phi'(z) \frac{\partial z}{\partial \beta}$$

est connu également. Il s'agit de résoudre cette dernière équation.

Nous savons que la forme de la fonction $f(\beta - x)$ est la suivante :

$$f(\beta - x) = k + n[\cos 4(\beta - x)]^b,$$

où k , n et b sont donnés en fonction de l et peuvent être pris dans la Table ci-dessus et, par conséquent,

$$\frac{-4nb[\cos 4(\beta - x)]^{b-1} \sin 4(\beta - x)}{k + n[\cos 4(\beta - x)]^b} = \Phi(z) \frac{\partial z}{\partial \beta}.$$

Nous ne pouvons résoudre cette équation, qui est très compliquée, qu'à certain degré d'approximation. De plus, il est à remarquer qu'au cours de la réduction des observations, il faut résoudre un nombre très considérable d'équations et, par conséquent, une trop laborieuse méthode pour trouver la

solution cherchée devient pratiquement inapplicable. On peut songer à chercher la correction de x , ayant pris tout d'abord sa valeur approchée toujours connue, car l'axe apparent de la lumière zodiacale ne peut pas avoir beaucoup dévié de son axe réel. Mais l'expression de cette correction est encore plus compliquée que l'équation primitive ⁽¹⁾. Pour ces raisons, j'ai renoncé à calculer numériquement l'équation de cette forme préférant appliquer la méthode graphique de résolution, étant donné surtout que l'exactitude du résultat doit correspondre à l'exactitude des données.

Voici cette méthode. J'ai tracé sur une feuille de papier divisé en millimètres les courbes représentant le dénominateur (intensité de la lumière zodiacale à une certaine distance du Soleil pour les diverses valeurs de s) et le numérateur (dérivée de l'intensité) pour les mêmes valeurs de l . Les ordonnées de ces courbes doivent être entre elles dans le rapport calculé. Donc il faut seulement trouver l'abscisse représentant la correction qui correspond aux ordonnées en question. Les courbes pour des valeurs pas trop grandes de l sont disposées d'une façon très avantageuse, grâce à la présence du grand facteur $4nb$, de telle sorte qu'à un déplacement sur l'axe des abscisses correspond un déplacement beaucoup plus grand sur l'axe des ordonnées. On peut facilement trouver les corrections à $0^{\circ},1$ près, et même plus exactement.

2° Les contours du cône apparent de la lumière zodiacale sont donnés.

En réalité, la lumière zodiacale n'a aucun contour déterminé; ce qu'on observe, c'est la dernière trace de lumière perceptible pour l'observateur, et dès que nous pouvons affirmer que l'intensité du fond du ciel reste la même dans toutes les parties du ciel sur lesquelles se dessine la lumière zodiacale, nous pouvons considérer les contours observés comme les courbes de même intensité dans tous ses points. Or, cette supposition est tout à fait légitime, parce que, comme l'expérience l'a montré, l'intensité du fond du ciel reste sensiblement la même plusieurs heures après le coucher du Soleil, dès que les dernières traces du crépuscule ont disparu.

Soient donc β_1 et β_2 les latitudes des points sur le contour de la lumière zodiacale correspondant à une même distance angulaire du Soleil; i_1 , i_2 leurs intensités et x la latitude inconnue de l'axe de la lumière zodiacale. Nous avons,

(1) La correction ds est la suivante :

$$ds = \frac{\Phi'(z) \frac{\partial z}{\partial \beta} k + n[\cos^4(\beta - x)]^b + 4nb[\cos^4(\beta - x)]^{b-1} \sin 4(\beta - x)}{4(b-1)[\sin^4(\beta - x)]^{b-1} + 16nb[\cos^4(\beta - x)]^b}.$$

d'après notre formule,

$$i_1 = k + n [\cos 4(\beta_1 - x)]^b,$$

$$i_2 = k + n [\cos 4(\beta_2 - x)]^b;$$

mais $i_1 e^{-\Phi(z_1)}$ et $i_2 e^{-\Phi(z_2)}$ sont les intensités apparentes des mêmes points; d'où, d'après notre supposition,

$$\frac{k + n [\cos 4(\beta_1 - x)]^b}{k + n [\cos 4(\beta_2 - x)]^b} = e^{\Phi(z_1) - \Phi(z_2)}$$

Posant

$$s_1 = \beta_1 - x \quad \text{et} \quad s_2 = \beta_2 - x,$$

nous pouvons y joindre l'équation

$$s_1 - s_2 = \beta_1 - \beta_2.$$

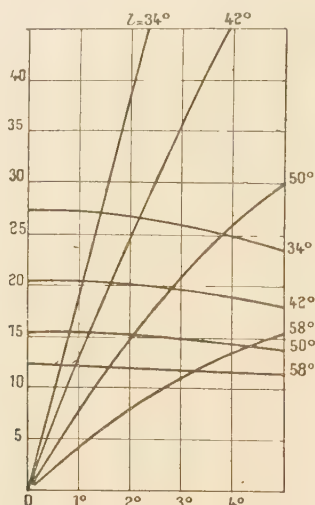
On peut trouver la solution au moyen de la Table que je viens de donner en cherchant quelles sont les valeurs de différence connue qu'il faut donner à s_1 et s_2 pour que le rapport des fonctions soit représenté par le nombre du second membre de l'équation. Mais il est beaucoup plus simple d'avoir recours à la construction graphique. Imaginons qu'au moyen de notre Table nous ayons construit les courbes d'intensité pour des valeurs données de l , de telle façon que les ordonnées de ces courbes donnent l'intensité correspondant à des valeurs quelconques de s (distance en degrés de l'axe vrai de la lumière zodiacale).

Portons sur une règle l'intervalle $\beta_1 - \beta_2 = s_1 - s_2$. En déplaçant cette règle le long de l'axe des β , nous pouvons arriver très rapidement à une position telle que le rapport des ordonnées correspondant aux extrémités de notre intervalle marqué ait comme valeur le nombre représentant le second membre de l'équation à résoudre. Alors, sur notre règle, la lecture correspondant à l'axe de symétrie de la courbe donnera la valeur de β exprimant la latitude de l'axe du cône observé hors de l'atmosphère. Mais cette méthode présente un désavantage sérieux en comparaison avec la première, car elle met en jeu les parties extrêmes de nos courbes d'intensité, qui sont toujours peu exactes. En outre, à leurs extrémités, nos courbes sont presque parallèles à l'axe des abscisses; donc, l'application de cette méthode peut donner les résultats très médiocres. Toutefois, elle peut être appliquée avec succès si l'on donne des courbes d'égale intensité peu éloignées de l'axe apparent de la lumière zodiacale.

D'après ce qui précède, on peut donner quelques règles générales pour les observations de la lumière zodiacale.

L'observateur tracera sur une carte du ciel l'axe apparent, c'est-à-dire la

courbe d'intensité maxima et les courbes voisines d'égale intensité. L'heure doit être donnée à une minute près, surtout si la lueur se trouve tout près de l'horizon. Il est nécessaire de noter les conditions atmosphériques et toutes les



circonstances pouvant influencer les observations. Dans la forme préparée à la publication, les observations doivent posséder tous les éléments de réduction, c'est-à-dire la latitude φ , la date, le temps sidéral $\mathcal{S}$ et les coordonnées écliptiques des courbes d'intensité donnée de 10° à 10° de distance du Soleil.

DÉTERMINATION DE LA POSITION DE LA LUMIÈRE ZODIACALE.

J'ai appliqué ma première méthode de réduction aux observations de Heis et de Weber, faites pendant 29 ans (1847-1875) ⁽¹⁾.

Je me suis d'abord demandé si j'avais le droit d'appliquer les résultats de mes observations faites en 1913, observations qui n'embrassent même pas la période d'une année à d'observations analogues faites il y a déjà un demi-siècle. Il est vrai que la lumière zodiacale est soumise aux variations brusques dans son éclat et dans son étendue, mais nous avons vu dans la première partie que ses elongations restent en moyenne les mêmes durant toute l'année. Il semble donc fort probable que la distribution de l'intensité dans la lumière zodiacale reste aussi sans changement d'une saison à l'autre et que les observations faites

(1) Dr HEIS, *Zodiacallicht-Beobachtungen*, 1847-1875.

de février en mai peuvent être appliquées aux observations se rapportant aux autres mois. De plus, nous pouvons supposer que la lumière zodiacale n'a subi aucun changement séculaire depuis sa découverte par Cassini. Heis compare ses observations avec quelques observations de Cassini, et malgré l'intervalle de 200 ans à peu près qui sépare les deux séries d'observations, il trouve une bonne concordance, je dirai même trop bonne.

Par exemple, d'après les observations de Cassini faites à Paris le 27 février 1685, le sommet de la lumière zodiacale avait une longitude de 66° . Heis ⁽¹⁾, observant à Münster la lumière zodiacale le 28 février 1864, c'est-à-dire après 179 ans, trouve pour le même point $\lambda = 66^\circ, 5$.

Les observations de Cassini au matin du 4 décembre 1685, à Paris, donnent pour le sommet de ce phénomène $\lambda = 187^\circ$, $\beta = +1^\circ$, et, 168 ans après, Heis trouve $\lambda = 186^\circ$ et $\beta = +1^\circ$. Pour ces raisons, je crois pouvoir appliquer mes résultats aux observations de Heis.

Les observations de Heis et de Weber ont été faites pour la plupart à Aix-la-Chapelle ($\varphi = 50^\circ 47'$), Münster ($\varphi = 51^\circ 58'$) et Peckeloh ($\varphi = 52^\circ 1', 5$).

J'ai tout d'abord construit des Tables donnant pour ces latitudes les angles i et Q en fonction du temps sidéral $\mathfrak{S}$. De même, il était nécessaire de construire la Table pour $\Phi'(\tau)$. Pour cette dernière Table, j'ai adopté la valeur du coefficient de l'absorption atmosphérique déterminé par le Dr Müller, à Potsdam, à savoir $p = 0,833$ ⁽²⁾. Enfin j'ai tracé les courbes représentant les intensités de la lumière zodiacale et celles représentant leurs dérivées pour des distances de 34° , 42° , 50° et 58° à partir du Soleil. Je fus obligé de me borner à ces limites parce que ma Table d'intensité commence à la distance de 34° du Soleil et devient, au delà de 60° , un peu incertaine à cause de la faiblesse extrême de la lumière zodiacale. Par suite, j'ai dû interpoler les observations de Heis et de Weber pour avoir les coordonnées écliptiques de l'axe de la lumière zodiacale qui correspondent aux distances mentionnées du Soleil, et à chacun de ces points j'ai systématiquement appliqué la correction provenant de l'absorption atmosphérique. J'ai toujours négligé les parties de l'axe qui se trouvaient au-dessous de 10° de hauteur, parce que, pour cette zone du ciel, ma correction augmente très rapidement avec la distance zénithale, et une petite erreur dans les heures d'observation suffit pour rendre le résultat tout à fait fantaisiste.

Je donne ci-après une série d'observations corrigées sous forme réduite qui contiennent :

(1) Dr HEIS, *Zodiacallicht-Beobachtungen*, p. IV.

(2) Prof. Dr MÜLLER, *Die Photometrie der Gestirne*, p. 138.

La date et l'heure moyenne locale de l'observation ;

La distance du sommet de la lumière zodiacale du Soleil ;

La longitude du Soleil (L) ;

Les distances du Soleil des points pour lesquels la correction (l) a été déterminée ;

Les coordonnées écliptiques apparentes (λ et β app.) et enfin la latitude vraie de ces points (β vrai).

Numéros.	Date.	Heure moy. locale.	Élongation.	L .	l .	λ .	β app.	β vrai.
----------	-------	-----------------------	-------------	-------	-------	-------------	--------------	---------------

Aix-la-Chapelle (Heis, 1847).

1	III 14...	8 ^h ,0	55 ^o ,0	354 ^o ,0	34 ^o 58	28 ^o ,0 52,0	0,8 0,2	—0,7 —0,1
2	III 15...	8,0	58,0	355,0	34 58	29,0 53,0	1,0 0,2	—0,5 —0,1
3	III 16...	8,0	62,0	356,0	34 58	30,0 54,0	5,0 2,6	3,9 2,4
4	III 18...	8,0	62,0	358,0	34 58	32,0 56,0	4,8 2,0	3,9 1,8

Aix-la-Chapelle (Heis, 1848).

5	III 24...	8,0	53,5	4,5	34 58	38,5 62,5	—2,0 1,5?	—3,4 1,3?
---	-----------	-----	------	-----	----------	--------------	--------------	--------------

Aix-la-Chapelle (Heis, 1849).

6	I 22...	8,0	81,5	303,0	58 »	1,0 20,0	—3,4 —1,0	—4,9 »
7	II 13...	8,0	84,0	325,0	42 58	7,0 31,0	4,4 —2,3	3,2 —2,6
8	III 19...	8,0	67,0	359,5	34 58	33,5 57,5	1,5 —2,8	0,3 —3,1
9	III 20...	8,0	64,0	0,5	34 50	34,5 50,5	—0,9 0,0	—2,2 —0,4
10	XII 24...	5,0 m.	77,5	272,5	58 »	214,5 200,0	3,2 4,0	—0,1 »

Aix-la-Chapelle (Heis, 1850).

11	III 5...	7,5	62,0	345,0	34 58	19,0 43,0	—1,5 0,7	—2,7 0,5
12	III 9...	7,7	61,0	349,0	34 50	23,0 39,0	7,1 4,2	6,3 3,9
13	III 13...	8,5	62,0	353,0	42 58	35,0 51,0	7,1 4,4	6,2 4,1

Numéros.	Date.	Heure moy. locale.	Élongation.	L.	<i>l.</i>	λ .	β app.	β vrai.
----------	-------	-----------------------	-------------	----	-----------	-------------	--------------	---------------

Aix-la-Chapelle (Heis, 1850).

14	III	15...	8 ^h ,0	61,5	355,0	34 ⁰	29,0	8,9	8,1
						58	58,0	3,7	3,5
15	X	6...	15,0 m.	69,0	193,0	42	167,0	5,1	4,5
						58	135,0	3,6	3,3

Aix-la-Chapelle (Heis, 1851).

16	I	23...	7,0	72,5	303,5	42	345,5	1,3	3,4
						58	1,5	3,9	3,5
17	II	18...	7,0	78,0	330,0	34	1,0	0,0	-0,8
						58	28,0	0,2	0,0
						»	10,0	»	»
18	II	23...	8,0	77,0	334,5	42	16,5	-1,2	-2,1
						58	32,5	-0,1	-0,8
19	IV	1...	8,0	57,0	12,0	34	46,0	1,2	0,1
						50	62,0	2,0	1,7
20	IX	25...	4,0 m.	69,0	181,5	34	147,5	2,2	0,0
						58	123,5	0,5	0,1
21	IX	28...	4,0 m.	75,5	184,5	42	142,5	14,3	14,0
						58	126,5	8,0?	7,8
						»	110,0	-2,0	»
22	X	3...	4,0 m.	71,5	189,5	34	155,5	5,5	3,4
						58	131,5	4,1	3,8
						»	120,0	2,5	»
23	X	4...	4,5 m.	71,5	190,5	42	148,5	13,0	12,7
						58	132,5	8,0	7,9
						»	120,0	3,0	»
24	X	6...	4,5 m.	69,5	192,5	34	158,5	1,1	-0,1
						58	134,5	3,7	3,6
25	XII	28...	7,0	78,0	266,5	58	324,5	1,0	-1,4
						»	340,0	1,5	»
26	XII	20...	5,0 m.	80,0	267,0	50	217,0	5,4	2,3
						58	209,0	5,9	1,2
						»	190,0	4,2	»
27	XII	23...	7,0	80,5	271,5	42	313,5	10,7	8,3
						58	329,5	8,3	7,2
						»	350,0	4,7	»
28	XII	24...	5,0 m.	67,0	272,0	50	222,0	9,1	6,3
						58	214,0	7,5	5,6

Aix-la-Chapelle (Heis, 1852).

29	I	2...	6,0 m.	72,0	281,0	50	231,0	1,1	-2,8
						58	223,0	2,2	0,0
						»	210,0	1,2	»
30	I	10...	6,5	70,5	290,0	42	232,0	5,2	3,1
						58	348,0	5,5	5,0

F.

Numéros.	Date.	Heure moy.		Élongation.	L.	l.	λ.	β app.	β vrai.
		locale.							

Aix-la-Chapelle (Heis, 1852) (suite).

31	I	19...	^h 7,0	^o 90,0	^o 299,0	^o 50	^o 349,0	^o 5,2	^o 4,6
						58	357,0	4,0	3,5
32	I	20...	5,0 m.	80,0	299,5	58	241,5	6,8	3,3
						»	220,0	1,2	»
33	I	20...	7,0	89,5	300,0	50	350,0	6,5	5,9
						58	358,0	5,4	4,9
34	III	19...	8,5	58,0	359,5	42	41,5	2,0	1,0
						58	57,5	2,3	2,0
35	III	20...	8,5	56,5	0,5	34	34,5	5,6	4,3
						58	58,5	3,6	3,3

Münster.

36	XI	18...	5,0 m.	61,5	236,5	42	194,5	5,8	3,9
						58	178,5	6,0	5,5
37	XII	12...	5,5 m.	51,5	260,5	42	218,5	5,8	2,9
						58	202,5	3,8	2,6
38	XII	24...	6,0 m.	51,5	272,5	42	230,5	6,0	3,5
						50	222,5	5,2	4,0

Münster (Heis, 1853).

39	I	3...	7,0 m.	78,5	283,5	42	325,5	7,8	6,1
						58	341,5	6,9	6,1
40	I	4...	6,5	74,5	284,5	42	326,5	5,5	4,3
						58	342,5	5,5	5,0
41	I	27...	6,5	80,0	308,0	34	342,0	4,7	3,8
						58	6,0	2,9	2,6
42	I	29...	7,0	85,0	310,0	42	352,0	2,8	2,0
						58	8,0	1,0	0,4
43	II	28...	8,2	69,5	340,0	42	22,0	1,7	0,7
						58	38,0	1,7	1,4
44	III	1...	8,0	67,5	341,5	34	15,5	0,4	—1,5
						58	39,5	2,3	2,0
45	III	11...	8,5	66,0	350,5	42	32,5	5,2	4,2
						58	48,5	4,0	3,6
46	III	27...	8,5	56,5	7,0	34	41,0	8,3	7,3
						58	65,0	»	»
47	III	28...	8,0	62,0	8,0	34	42,0	5,3	4,5
						58	66,0	3,8	3,6
48	III	30...	8,0	65,5	10,0	34	44,0	5,5	5,0
						58	68,0	4,7	4,5
49	IV	28...	9,2	59,5	38,5	34	72,5	2,5	0,1
						58	96,5	3,5	3,0

Numéros.	Date.	Heure moy.		Élongation.	L.	l.	λ .	β app.	β vrai.
		locale.							

Münster (Heis, 1853) (suite).

50	V	4...	^h 9,5	^o 62,5	^o 44,5	^o 34	^o 78,5	^o 7,5	^o 5,7
						58	102,5	7,5	6,8
51	X	4...	3,7 m.	66,0	191,0	42	149,0	5,2	4,6
						58	133,0	4,5	4,2
52	XI	2...	4,5 m.	53,0	219,0	42	177,0	11,1	10,6
						50	169,0	9,3	8,9
53	XII	1...	6,5	86,0	249,0	50	299,0	7,2	4,5
						58	307,0	7,2	5,1
54	XII	2...	6,5	94,5	250,5	58	308,5	2,0	—0,9
						»	»	»	»
55	XII	3...	5,0 m.	65,0	251,0	50	201,0	4,5	3,7
						58	193,0	4,5	3,8
56	XII	10...	5,2 m.	62,5	258,5	50	208,5	5,0	4,1
						58	200,5	3,1	2,2
57	XII	13...	5,8 m.	66,5	261,5	42	219,5	8,5	7,7
						58	203,5	6,0	5,4
58	XII	25...	6,0	83,0	274,0	42	316,0	—3,5	—7,2
						58	332,0	—2,2	—3,5

Münster (Heis, 1854).

59	I	18...	7,0	86,5	298,5	42	340,5	5,5	4,5
						58	356,5	3,7	3,2
60	I	19...	6,5	76,5	299,5	50	399,5	1,0	0,4
						58	357,5	1,0	0,5
61	I	24...	8,0	84,5	304,5	50	354,5	—0,5	—2,5
						58	2,5	—0,5	—1,5
62	I	30...	4,0 m.	88,0	310,0	»	230,0	0,0	»
						»	240,0	—4,0	»
63	II	28...	8,7	77,0	340,0	50	30,0	2,0	1,2
						58	38,0	2,2	1,5
64	III	16...	8,0	65,5	356,0	34	30,0	10,5	9,8
						58	54,0	2,0	1,7
65	III	18...	8,0	63,5	358,0	34	32,0	7,2	6,3
						58	56,0	3,0	2,7
66	IV	16...	9,0	61,0	26,5	34	60,5	5,0	3,4
						58	84,5	3,2	2,6
67	IV	17...	10,0	62,5	27,5	34	61,5	5,2	3,6
						58	85,3	0,5	—0,4
68	IV	18...	10,0	73,5	28,5	42	70,5	4,0	2,2
						58	86,5	4,1	3,0
69	IX	3...	3,5 m.	66,5	160,5	42	118,5	2,4	1,6
						58	102,5	1,2	0,6
70	XI	1...	4,0 m.	73,5	218,5	50	168,5	5,3	4,1
						58	160,5	4,1	3,3
71	XII	27...	5,0 m.	87,5	275,5	50	225,5	8,5	»
						58	217,5	8,5	6,3
						»	190,0	7,0	»

Numéros.	Date.	Heure moy. locale.	Elongation.	$l.$	$l.$	$\lambda.$	β app.	β vrai.
----------	-------	-----------------------	-------------	------	------	------------	--------------	---------------

Münster (Heis, 1854) (suite).

72	XII 30...	5,0 m.	91,5	278,5	50 ⁰	228,5 ⁰	7,9 ⁰	» ⁰
					58	220,5	7,0	3,8
					»	190,0	3,5	»

Münster (Heis, 1855).

73	I 10...	7,0	70,5	290,0	50	340,0	2,2	1,0
					58	348,0	2,2	1,3
74	I 18...	8,0	96,5	298,5	50	348,5	2,0	0,1
					58	356,5	1,7	0,5
					»	30,0	-1,0	»
75	II 9...	8,0	86,0	320,5	42	2,5	1,4	-0,7
					58	18,5	1,0	0,4
						40,0	0,5	»
76	II 16...	8,0	87,0	328,0	42	10,0	6,5	5,3
					58	26,0	3,5	3,0
						50,0	-2,5	»
77	III 5...	8,0	73,0	345,0	34	26,7	5,3	4,7
					58	50,7	3,5	3,3
78	III 16...	8,0	71,5	356,0	34	30,0	5,0	3,8
					58	54,0	3,5	2,2
79	X 26...	4,0 m.	59,0	183,0	34	149,0	5,3	3,3
					58	125,0	6,0	5,7
80	XII 21...	5,5 m.	57,5	269,5	42	227,5	9,0	»
					50	219,5	6,0	2,7

Münster (Heis, 1856).

81	II 3...	7,0	89,0	314,0	34	348,0	2,6	0,9
					58	312,0	0,9	0,3
82	III 7...	8,0	69,0	347,0	»	40,0	-0,2	»
					34	21,0	8,2	7,0
					58	45,0	2,0	1,4
83	III 25...	8,5	66,5	5,5	42	47,5	-2,0	-3,0
					58	63,5	-1,2	-1,8
84	IV 23...	9,5	65,0	34,0	42	76,0	2,4	0,8
					58	92,0	1,4	0,5

Münster (Heis, 1857).

83	II 2...	5,0 m.	94,0	313,5	»	240,0	3,0	»
					»	220,0	4,5	»
86	II 14...	8,0	82,0	326,0	34	0,0	4,0	9,1
					58	24,0	6,6	6,0
87	I 15...	8,0	80,0	327,0	42	9,0	5,4	4,4
					58	25,0	4,6	4,0

Numéros.	Date.	Heure moy.		Élongation.	L.	l.	λ .	β app.	β vrai.
		locale.							

Münster (Heis, 1857) (suite).

88	II	23...	^h 7,0	^o 74,0	^o 335,0	^o 34	^o 9,0	^o 7,7	^o 7,1
						58	33,0	2,5	2,3
89	II	24...	7,0	78,0	336,0	34	10,0	6,0	5,4
						58	34,0	4,6	4,5
90	III	16...	7,5	74,0	856,0	34	30,0	8,5	7,9
						58	54,0	1,9	1,7
91	III	17...	8,0	74,0	357,5	34	31,5	—1,0	—2,5
						58	55,5	—0,2	—0,5
92	IV	15...	9,0	59,0	26,0	34	60,0	2,0	—0,2
						58	84,0	1,7	1,1
93	XII	18...	8,0	82,0	267,0	50	317,0	13,5	9,7
						58	325,0	12,6	11,1

Münster (Heis, 1858).

94	I	3...	7,0	89,0	283,5	50	333,5	0,5	—1,1
						58	341,5	0,4	—0,8
						"	10,0	—0,5	"
95	II	7...	7,0	76,2	319,0	34	353,0	3,7	2,5
						58	17,0	1,0	0,7
96	III	5...	8,0	70,0	345,0	34	19,0	8,0	6,8
						50	35,0	2,0	"
						58	43,0	1,2	0,7
97	IV	4...	8,0	58,0	15,0	34	49,0	2,1	1,2
						58	73,0	2,0	1,8
98	IV	14...	8,5	79,5	24,5	34	58,5	3,6	2,3
						58	82,5	1,9	1,5
						"	100,0	1,0	"

Münster (Heis, 1859).

99	III	7...	9,0	73,5	347,0	50	37,0	3,5	2,2
						58	45,0	3,9	3,1
100	III	22...	8,0	65,0	2,0	34	36,0	10,9	10,0
						58	60,0	6,0	5,4
101	III	28...	8,0	61,0	8,0	34	41,0	4,7	4,1
						58	66,0	4,0	3,8
102	IX	30...	4,0 m.	61,5	186,5	34	152,5	6,4	4,6
						58	128,5	1,9	1,4
103	XI	20...	8,0	85,0	238,0	58	296,0	3,0?	"
						"	320,0	1,0	"
104	XI	24...	5,0 m.	55,5	241,5	42	199,5	5,0	2,6
						50	191,5	4,3	3,3
105	XII	20...	7,0	70,0	268,5	50	318,5	5,0	2,6
						58	326,5	3,0	1,1

Numéros.	Date.	Heure moy.		Élongation.	L.	l.	λ.	β app.	β vrai.
		locale.							
Münster (Heis, 1860).									
106	I	12...	7 ^h ,0	88 ^o ,0	298 ^o ,0	34 ^o	332 ^o ,0	7,2	5,7
						58	356,0	2,8	2,2
107	II	9...	7,5	88,5	320,5	42	10,0	—0,5	»
						58	2,5	2,8	1,9
							18,5	1,8	1,3
108	II	11...	7,0	91,5	322,5	42	40,0	0,5	»
						58	4,5	0,5	—0,1
							20,5	0,5	0,2
109	II	15...	7,7	88,5	326,5	34	50,0	3,0	»
						58	0,5	5,5	3,7
							24,5	4,4	4,1
110	II	23...	7,5	88,5	334,5	34	50,0	3,5	»
						58	8,5	6,5	5,6
							32,5	5,2	5,0
111	IV	7...	8,5	65,5	18,5	34	60,0	3,0	»
						58	52,5	8,0?	7,2
						58	76,5	2,0	2,7
Münster (Heis, 1861).									
112	I	1...	7,0	67,5	281,5	50	331,5	2,4	0,9
						58	339,5	3,2	2,2
113	I	8...	6,5	72,5	288,5	34	322,5	7,0	5,3
						58	346,5	6,4	5,8
114	II	10...	8,0	85,0	322,0	42	4,0	3,0	1,4
						58	40,0	2,5	2,0
115	III	9...	8,0	72,0	349,0	34	23,0	6,2	4,9
						58	47,0	4,0	3,4
116	III	12...	7,2	80,0	352,0	34	26,0	3,6	3,0
						58	50,0	3,0	2,9
117	IV	6...	9,0	73,0	17,0	42	59,0	1,9	0,7
						58	75,0	—1,3	—2,1
118	IV	9...	3,0	70,0	20,0	34	54,0	7,2	5,7
						58	78,0	2,4	1,8
119	XII	2...	5,7 m.	63,0	249,0	42	207,0	5,1	3,9
						58	191,0	5,5	4,9
Münster (Heis, 1862).									
120	II	18...	8,0	79,0	330,0	42	12,0	5,3	4,6
						58	28,0	3,5	3,2
121	II	22...	8,0	80,5	334,5	»	40,0	1,7	»
						42	16,5	3,3	2,5
						58	32,5	2,6	2,3
122	III	17...	8,0	63,0	357,0	»	50,0	2,0	»
						34	31,0	5,7	4,8
						58	55,0	3,6	3,3

Numéros.	Date.	Heure moy. locale.	Élongation.	L.	<i>l</i> .	λ .	φ app.	φ vrai.
----------	-------	-----------------------	-------------	----	------------	-------------	----------------	-----------------

Münster (Heis, 1862) (suite).

123	III 27...	8,0	57,0	7,0	34 ⁰	41,0	4,4	3,6
					58	65,0	2,0	1,8
124	III 31...	8,5	57,0	11,0	34	45,0	5,5	4,3
					50	61,0	3,4	2,9
125	IV 25...	9,0	77,0	35,5	34	69,5	2,0	0,2
					58	93,5	2,2	1,6
					»	110,0	4,0	»
126	IV 29...	9,0	80,5	39,5	34	73,5	6,5	5,4
					58	97,5	3,4	2,9
					»	110,0	2,5	»
127	XII 16...	6,0	94,5	264,5	42	306,5	3,4	0,8
					58	322,5	3,8	2,6
					»	350,0	5,5	»
128	XII 22...	6,2	78,0	271,0	34	305,0	9,5	7,5
					58	329,0	6,6	5,8
					»	340,0	6,0	»

Münster (Heis, 1863).

129	I 9...	6,7	94,0	289,0	58	347,0	8,0?	7,5?
					»	20,0	0,5	»
130	I 15...	6,5	86,0	295,0	42	387,0	7,6	6,9
					58	353,0	4,4	3,9
					»	10,0	1,0	»
131	II 5...	7,0	69,5	316,5	34	350,5	2,7	1,4
					58	14,5	1,2	0,9
132	II 9...	8,0	86,5	320,5	50	10,5	—0,5	—1,4
					58	18,5	—0,2	—0,9
133	II 14...	8,0	86,0	326,0	42	8,0	1,0	—0,6
					58	24,0	1,0	0,5
134	II 17...	8,0	87,0	329,0	42	11,0	3,0	2,0
					58	27,0	2,8	2,3
135	III 8...	8,0	79,5	348,0	34	22,0	6,8	5,6
					58	46,0	3,5	3,2
136	IV 6...	9,2	77,5	16,5	42	58,5	5,4	4,2
					58	74,5	2,0	1,3
137	IV 10...	9,0	76,5	20,5	42	62,5	4,6	3,6
					58	78,5	2,5	2,1
					»	20,0	1,7	»
138	IV 13...	8,7	74,0	23,5	34	57,5	3,8	2,4
					58	81,5	4,5	4,0
139	IV 19...	3,0	69,5	29,5	50	79,5	1,0	0,3
					58	87,5	1,4	0,8
140	X 11...	4,0 m.	50,5	197,5	42	155,5	6,4	5,4
					50	147,5	5,8	5,2
141	XI 21...	5,0 m.	68,5	238,5	50	188,5	0,0	—1,3
					58	180,5	4,5	3,9

Numéros.	Date.	Heure moy.		Élongation.	L.	l.	λ .	β app.	β vrai.
		locale.							

Münster (Heis, 1864).

142	I	4...	^h 7,5	⁰ 88,0	⁰ 283,5	⁰ 50	⁰ 333,5	⁰ 4,5	⁰ 2,3
			58	341,5	3,4	2,0			
143	I	10...	7,0	95,0	290,0	»	10,0	1,2	»
						50	340,0	4,0	3,0
						58	348,0	3,2	2,4
144	I	26...	6,5	84,0	306,0	»	20,0	—1,7	»
						34	340,0	3,5	2,3
						58	4,0	0,7	0,2
145	I	30...	6,5	36,5	310,5	»	20,0	—2,5	»
						42	352,5	4,5?	4,1
						58	8,5	2,0	1,7
146	II	28...	8,2	87,0	339,5	»	40,0	—2,2	»
						34	13,5	8,5?	6,9?
						58	37,5	4,5	4,2
147	III	10...	8,5	84,5	350,5	»	60,0	1,7	»
						50	40,5	—1,0	—1,7
						58	48,5	—1,0	—1,6
148	III	29...	8,0	63,5	9,5	»	70,0	0,0	»
						34	43,5	4,2	3,4
						58	67,5	2,7	2,5
149	IV	2...	8,5	64,5	13,5	34	47,5	3,1	1,9
						58	71,5	9,9	0,6
150	IV	5...	8,5	73,5	16,5	34	50,5	8,5	7,7
						58	74,5	2,5	2,2
151	IV	6...	8,5	73,5	17,5	34	51,5	7,3	6,5
						58	75,5	2,0	1,7
						»	90,0	0,5	»
152	IV	8...	9,0	73,0	19,0	34	53,0	6,5	4,9
						58	77,0	1,8	1,3
153	IV	24...	9,5	80,0	35,0	50	85,0	—1,5	—2,8
						58	93,0	—0,4	—1,5
154	IV	30...	9,5	76,5	41,5	50	91,5	2,6	1,7
						58	99,5	3,0	2,5
155	V	3...	9,7	78,0	43,5	50	93,5	0,7	—0,9
						58	101,5	2,4	1,3
156	XII	26...	6,5	79,5	275,5	»	120,0	6,5	»
						34	309,5	10,5	8,0
						58	333,5	9,6	9,0

Peckelot (Weber).

157	X	4...	3,7 m.	85,0	191,0	42	149,9	0,8	—1,0
						58	133,0	—2,7	—3,4
158	X	7...	4,0 m.	75,0	194,0	42	152,0	2,7	1,6
						58	136,0	1,2	0,7
159	X	4...	3,7 m.	85,0	191,0	»	120,0	0,0	»

Numéros.	Date.	Heure moy. locale.	Élongation.	L.	<i>l</i> .	λ .	β app.	β vrai.
----------	-------	-----------------------	-------------	----	------------	-------------	--------------	---------------

Peckelot (Weber) (suite).

159	X	8...	4,0 m.	75,0	195,0	42 ⁰ 58	153,0 ⁰ 137,0	2,6 ⁰ 1,2	1,1 ⁰ 0,7
160	X	25...	4,5 m.	68,0	212,0	42 58	170,0 154,0	3,5 1,5	2,3 1,0
161	X	30...	4,5 m.	75,0	217,0	42 58	175,0 159,0	4,2 2,1	3,2 1,5
162	X	31...	5,0 m.	73,0	218,0	34 58	184,0 160,0	5,2 2,5	3,5 2,2

Münster (Heis, 1865).

163	I	28...	6,5	95,0	309,0	50 58	359,0 7,0	7,7 5,6	7,3 5,3
164	II	14...	8,0	83,5	326,0	34 58 »	0,0 24,0 40,0	10,5 6,7 3,7	8,7 6,4 »
165	II	22...	7,0	86,0	333,5	34 58 »	7,5 31,5 60,0	9,0 4,2 1,2	8,1 3,9 »
166	III	19...	8,0	77,5	339,5	34 58 »	33,5 57,5 70,0	2,4 0,3 0,0	1,4 0,1 »
167	IV	20...	8,7	71,0	31,0	34 58	65,0 89,0	2,0 2,0	0,8 1,7
168	IV	22...	9,0	72,5	32,5	34 58	66,5 90,5	2,5 2,5	0,5 2,0
169	IV	24...	9,0	73,0	34,5	42 58	76,5 92,5	5,9 6,3	5,2 5,9
170	XII	15...	8,0	94,0	264,0	50 58	314,0 322,0	15,1 9,9	» 6,6

Peckelot (Weber).

171	IV	20...	9,0	79,0	31,0	42 58	73,0 89,0	—3,0? —0,2	—4,1 —0,7
172	IV	21...	9,0	87,0	32,0	42 58 »	74,0 90,0 110,0	0,5 0,5 3,0	0,6 0,0 »
173	IV	23...	9,0	79,0	34,0	34 58	68,0 92,0	3,0? 4,1	1,5 3,7
174	IV	27...	9,0	79,5	37,5	42 58	79,5 95,5	3,5 4,8	2,7 4,4
175	X	26...	4,0 m.	72,0	213,0	50 58	163,0 155,0	4,3 2,3	3,4 1,8
176	X	29...	4,0 m.	72,0	216,0	50 58	166,0 158,0	3,1 2,4	1,9 1,6

F.

Numéros.	Date.	Heure moy. locale.	Élongation.	L.	<i>l</i> .	λ .	β app.	β vrai.
----------	-------	-----------------------	-------------	----	------------	-------------	--------------	---------------

Münster (Heis, 1866).

177	I	5...	8,0	94,0	285,0	58	343,0	2,8	1,4
						»	10,0	1,0	»
178	II	8...	8,0	89,0	320,0	42	2,0	-0,5	-1,7
						58	18,0	-0,1	-0,6
						»	40,0	0,0	»
179	II	11...	8,5	91,0	323,0	50	13,0	2,4	1,1
						58	21,0	2,0	1,2
						»	50,0	1,0	»
180	III	3...	7,7	68,0	347,0	34	21,0	5,3	4,5
						58	45,0	3,5	3,4
181	XII	30...	7,0	71,0	279,0	42	321,0	11,1	9,5
						58	337,0	9,0	8,2

Peckelot (Weber).

182	I	5...	8,0	74,0	285,0	58	343,0	6,8	5,1
						»			»
183	III	4...	9,0	82,0	344,0	50	34,0	1,5	-0,7
						58	42,0	1,5	0,4
184	III	5...	8,0	82,0	345,0	42	27,0	1,0	0,2
						58	43,0	1,0	0,7
185	X	6...	5,0 m.	76,0	193,0	42	151,0	0,0	-0,4
						58	135,0	2,4	2,3
186	X	13...	5,0 m.	78,5	199,5	42	157,5	-2,5	-3,1
						58	141,5	-0,5	-0,7
187	X	15...	5,0 m.	80,5	201,5	42	159,5	-4,0	-4,7
						58	143,5	-1,9	-2,1
188	X	18...	5,0 m.	81,0	204,5	34	170,5	3,7	2,6
						58	146,5	5,6	5,5
189	X	19...	5,0 m.	81,5	205,5	34	171,5	5,2	4,4
						58	147,5	5,0	4,9
190	XI	10...	5,0 m.	78,0	227,5	34	193,5	7,1	4,7
						58	169,5	5,1	4,8
191	XI	11...	5,0 m.	77,0	228,5	42	186,5	5,9	3,9
						58	170,5	5,2	4,8
192	XII	7...	6,0 m.	66,0	255,0	42	213,0	1,2	-0,6
						58	197,0	1,5	0,6
193	XII	9...	6,0 m.	66,0	257,0	42	215,0	0,2	-2,1
						58	199,0	1,0	0,0
194	XII	11...	6,0 m.	65,0	259,0	50	209,9	-0,6	-2,1
						58	201,0	1,2	0,2
195	XII	20...	6,0 m.	56,0	268,5	42	226,5	2,5	-1,0
						58	210,5	4,5	3,3
196	XII	30...	6,5	63,5	278,5	50	328,5	-2,6?	-3,7
						58	336,5	-1,8	-3,1

Numéros.	Date.	Heure moy.		Elongation.	L.	l.	λ .	φ app.	β vrai.
		locale.							

Münster (Heis, 1867).

197	I	5...	6,5	81,0	285,0	50 ⁰	335,0	—1,8	—3,1
						58	343,0	—0,4	—1,3
198	II	1...	7,0	89,5	312,5	»	0,0	3,7	»
						50	2,5	1,0	0,5
199	II	2...	7,0	97,0	313,5	58	10,5	0,2	—0,2
						42	355,5	10,7	10,3
200	II	23...	7,2	81,0	335,0	58	11,5	8,4	8,2
						»	40,0	4,5	»
201	II	26...	8,0	89,0	338,0	34	9,0	8,6	8,0
						58	33,0	5,0	4,9
202	III	2...	8,0	87,0	342,0	»	50,0	2,2	»
						42	20,0	7,0	6,4
203	IV	1...	8,2	75,0	12,0	58	36,0	5,1	4,9
						»	60,0	2,7	»
204	XII	24...	6,5	87,5	272,5	34	16,0	6,9	5,4
						58	40,0	5,0	4,8
205	II	2...	8,0	76,0	313,5	42	54,0	3,9	3,5
						58	70,0	1,5	1,2
206	II	3...	8,0	76,5	314,5	50	322,5	2,2	0,8
						58	330,5	3,0	1,9

Peckelot (Weber).

205	II	2...	8,0	76,0	313,5	50	2,5	0,3	—0,8
						58	11,5	0,6	—0,2
206	II	3...	8,0	76,5	314,5	50	4,5	1,2	0,3
						58	12,5	1,6	1,1
207	II	23...	8,0	84,0	335,0	42	17,0	1,4	0,5
						58	33,0	1,5	1,2
208	II	26...	8,0	83,0	338,0	»	50,0	1,7	»
						34	12,0	3,2	1,3
209	III	2...	8,0	79,0	342,0	58	36,0	2,2	1,9
						34	16,0	2,8	0,6
210	III	25...	8,0	72,0	5,0	58	40,0	2,0	1,7
						34	39,0	1,5	0,6
211	III	26...	8,0	73,0	6,0	58	63,0	2,3	2,1
						34	40,0	3,1	2,2
212	III	29...	8,0	70,0	9,0	58	64,0	2,3	2,1
						34	43,0	5,3	4,5
213	III	30...	8,0	69,0	10,0	58	67,0	2,0	1,9
						34	44,0	4,4	3,7
214	IV	25...	8,5	65,0	35,0	58	68,0	1,2	1,1
						34	69,0	3,5	2,6
215	V	5...	9,0	65,0	45,0	50	85,0	1,4	1,3
						58	79,0	2,0	0,4
							103,0	2,5	2,0

Numéros.	Date.	Heure moy.		Élongation.	L.	l.	λ .	β app.	β vrai.
		locale.							

Münster (Heis, 1868).

216	I	20...	8,0	97,5	300,0	50 ⁰	350,0	3,5	1,6
						58	358,0	3,7	3,0
217	II	11...	8,0	92,5	322,5	42	4,5	15,0?	14,5?
						58	20,5	12,5	12,3
						»	50,0	6,2	»
218	II	17...	8,0	92,0	328,5	42	10,5	7,5	6,7
						58	26,5	5,5	5,2
						»	50,0	3,0	»

Peckelot (Weber).

219	X	22...	4,0 m	78,0	209,0	42	167,0	2,2	—0,4
220	XI	18...	5,0 m	84,0	236,5	58	151,0	3,7	3,2
						42	194,5	2,5	—0,2
						58	178,5	2,4	1,9

Münster (Heis, 1869).

221	I	8...	7,0	94,0	288,5	42	330,5	6,5	5,0
						58	346,5	5,1	4,6
222	II	5...	7,5	93,0	317,0	»	20,0	0,2	»
						42	359,0	0,0	—1,1
						58	15,0	1,0	0,6
223	III	5...	8,0	82,0	345,0	»	40,0	2,0	»
						34	19,0	7,1	5,8
						58	43,0	3,4	3,1
						»	60,0	1,0	»

Peckelot (Weber).

224	I	11...	8,0	78,0	292,0	50	342,0	6,4	4,3
225	I	12...	8,0	78,5	293,0	58	350,0	5,7	4,5
						50	343,0	6,2	4,1
226	I	13...	8,0	77,0	294,0	58	353,0	5,9	4,7
						50	344,0	5,0	2,7
227	II	5...	8,0	84,0	317,0	58	252,0	5,0	4,3
						42	359,0	3,1	1,2
						58	15,0	2,0	1,5
228	II	6...	8,0	84,0	318,0	»	30,0	2,0	»
						42	0,0	3,0	1,2
						58	16,0	3,0	2,5
229	II	14...	8,0	82,0	326,0	»	40,0	3,7	»
						34	0,0	9,7	7,7
						58	24,0	8,2	7,9
						»	40,0	6,5	»

Numéros.	Date.	Heure moy.		Élongation.	L.	l.	λ .	β app.	β vrai.
		locale.							

Peckelot (Weber) (suite).

230	III	3...	8 ^h , ₀	87 ^o , ₀	343 ^o , ₀	42 ^o	25 ^o , ₀	3 ^o , ₁	2 ^o , ₃
						58	41 ^o , ₀	2 ^o , ₀	1 ^o , ₇
231	III	8...	8 ₀	82,5	348 ₀	»	60 ₀	2 ₀	»
						42	30 ₀	4 ₀	3,3
232	III	30...	8 ₅	77 ₀	10 ₀	58	46 ₀	3 ₂	2,9
						»	60 ₀	2 ₅	»
233	III	31...	8 ₅	76 ₀	11 ₀	34	44 ₀	3 ₁	1,7
						58	68 ₀	2 ₆	2,3
234	IV	1...	8 ₅	75,5	12 ₀	34	45 ₀	3 ₁	1,7
						58	69 ₀	2 ₀	1,7
235	IV	5...	8 ₅	75 ₀	16 ₀	34	46 ₀	3 ₆	2,2
						58	70 ₀	2 ₂	1,9
236	IV	11...	8 ₅	70 ₀	22 ₀	34	50 ₀	4 ₀	2,9
						58	74 ₀	2 ₂	1,9
						34	56 ₀	5 ₄	4,5
						50	72 ₀	4 ₆	4,4

Münster (Heis, 1870).

237	I	25...	7 ₀	101 ₀	306 ₀	42	348 ₀	0 ₅	—0 ₅
						58	4 ₀	0 ₅	0 ₁
238	I	30...	7 ₀	98,5	311 ₀	»	40 ₀	1 ₂	»
						42	353 ₀	6 ₀	5,4
239	II	22...	8 ₀	80 ₀	334 ₀	58	9 ₀	3 ₆	3,3
						»	40 ₀	0 ₂	»
240	II	27...	8 ₀	78 ₀	339 ₀	42	16 ₀	8 ₅	7,9
						58	32 ₀	8 ₂	8 ₀
241	III	3...	8 ₀	77 ₀	343 ₀	»	50 ₀	5 ₂	»
						34	13 ₀	3 ₅	1,7
242	IV	1...	8 ₅	65 ₀	12 ₀	58	37 ₀	3 ₅	3,3
						34	17 ₀	5 ₃	3,5
243	IV	2...	8 ₅	71 ₀	13 ₀	58	41 ₀	2 ₉	2,6
						34	46 ₀	2 ₆	1,1
244	XI	29...	4 ₀ m.	73 ₀	247 ₀	58	70 ₀	1 ₂	0,9
						34	47 ₀	11 ₅ ?	10,8?
245	XII	11...	7 ₀	80 ₅	259 ₅	58	71 ₀	4 ₂	3,9
						»	189 ₀	4 ₅	1 ₀
						»	180 ₀	4 ₂	»
						58	317 ₅	—1 ₂	»
						»	330 ₀	0 ₀	»

Peckelot (Weber).

246	I	25...	8 ₀	88,5	305 ₅	50	355 ₅	3 ₄	2 ₁
						58	3 ₅	2 ₈	1 ₉
247	I	28...	8 ₀	86 ₀	309 ₀	42	351 ₀	5 ₆	3 ₂
						58	7 ₀	3 ₀	2 ₅
						»	30 ₀	1 ₀	»

Numéros.	Date.	Heure moy. locale.	Élongation.	L.	<i>l</i> .	λ .	β app.	β vrai.
Peckelot (Weber) (suite).								
248	I 31...	^h 7,0	86,0	312,0	34 ⁰ 58	346,0 10,0	6,0 3,0	4,8 2,7
249	II 22...	8,0	87,5	334,0	42 58	16,0 32,0	3,0 3,0	2,2 2,7
250	II 27...	8,0	89,0	339,0	42 58	21,0 37,0	3,5 3,5	2,8 3,3
251	II 28...	8,0	87,0	340,0	42 58 »	22,0 38,0 60,0	4,9 3,8 3,7	4,3 3,6 »
252	III 2...	8,0	87,0	342,0	34 58 »	16,0 40,0 60,0	6,9 5,5 4,2	5,4 5,3 »
253	III 3...	7,5	87,0	343,0	34 58	17,0 41,0	6,4 4,7	5,6 4,6
254	III 5...	8,0	87,0	345,0	34 58	19,0 43,0	5,5 5,5	4,0 5,3
255	III 19...	8,0	85,5	359,0	34 58 »	33,0 57,0 80,0	4,0 3,5 3,5	3,0 3,3 »
256	IV 1...	8,0	84,0	12,0	34 58 »	46,0 70,0 90,0	2,8 2,0 2,0	2,0 1,8 »
257	IV 3...	8,0	80,0	14,0	42 58 »	56,0 72,0 90,0	1,0 1,0 1,2	0,5 0,8 »
258	IV 20...	8,0	78,0	30,5	50 58 »	80,5 88,5 100,0	1,5 1,3 1,0	1,2 1,1 «
259	IV 22...	8,0	79,5	32,5	42 58	74,5 90,5	1,0 0,7	0,6 0,5
260	XI 3...	5,0 m.	93,0	220,5	42 58	178,5 162,5	—2,1 —1,7	—3,5 —2,1
261	XI 23...	5,5 m.	100,5	239,5	50 58 »	189,5 181,5 150,0	—0,9 —1,4 —2,7	—3,9 —3,0 »
262	XI 30...	5,5 m.	91,0	248,0	42 58	206,0 190,0	5,2 2,0	3,5 1,4
263	XII 1...	6,0 m.	85,0	249,0	42 58 »	207,0 191,0 170,0	3,4 2,5 0,0	2,3 2,0 »
264	XII 21...	6,0 m.	77,0	269,0	42 58 »	227,0 211,0 200,0	5,0 5,0 3,7	2,0 3,7 »
265	XII 21...	7,0	100,0	270,0	50 58 »	320,0 328,0 0,0	5,7 4,7 —0,5	3,0 3,3 »

LA LUMIÈRE ZODIACALE.

127

Numéros.	Date.	Heure moy. locale.	Élongation.	L.	l.	λ.	β app.	β vrai.
----------	-------	-----------------------	-------------	----	----	----	--------	---------

Münster (Heis, 1871).

266	I	15...	^h 7,0	^o 104,5	^o 295,5	^o 42	^o 337,5	^o 4,2	^o 2,8
						58	353,5	2,9	2,4
						»	30,0	1,5	»

Peckelot (Weber).

267	I	13...	7,0	91,0	293,0	42	355,0	3,0	1,0
						58	351,0	2,2	1,4
						»	20,0	2,0	»
268	I	15...	6,5	91,0	295,5	34	329,5	5,0	3,4
						58	353,6	4,2	3,8
						»	20,0	3,5	»
269	III	12...	8,0	85,0	352,0	34	26,0	—1,7	—1,1?
						58	50,0	—1,7	—2,0
270	III	19...	8,0	82,0	359,0	42	41,0	—1,7	—2,4
						58	57,0	—1,0	—1,4
271	III	22...	8,0	79,0	2,0	34	36,0	—0,9	—2,2
						58	60,0	0,2	0,0
272	IV	8...	8,5	88,5	18,5	34	52,5	0,6	—1,1
						58	76,5	1,8	1,5
						»	100,0	2,2	»
273	IV	14...	8,5	87,0	24,5	50	74,5	0,0	—0,5
						58	82,5	0,1	—0,2
						»	110,0	3,7	»

Münster (Heis, 1872).

274	III	4...	8,0	76,5	344,5	34	18,5	7,1	5,8
						58	42,5	4,8	4,6
						»	60,0	3,0	»
275	IV	11...	8,5	71,5	351,5	42	33,5	3,6	2,6
						58	49,5	3,2	2,8

Peckelot (Weber, 1873).

276	I	25...	6,5	88,5	306,0	42	348,0	2,3	1,7
						58	4,0	1,4	1,1
						»	30,0	1,7	»
277	I	26...	6,5	88,5	307,0	34	341,0	1,5	0,3
						58	5,0	1,5	1,2
						»	30,0	2,5	»
278	II	21...	7,0	88,0	333,5	34	7,5	3,6	3,0
						58	31,5	1,7	1,6
279	II	27...	8,2	90,5	339,5	42	21,5	1,4	0,5
						58	37,5	—0,3	—0,7

Numéros.	Date.	Heure moy.		Élongation.	L.	l.	λ .	β app.	β vrai.
		locale.							

Peckelot (Weber, 1873) (suite).

280	III 21...	8,0	99,0	1,5	42	43,5	0,7	0,1
						58	0,1	0,1
281	III 24...	8,0	98,5	4,5	34	90,0	—0,5	»
						38,5	1,8	0,8
						58	1,0	0,8
282	III 27...	8,0	99,0	7,0	34	100,0	—0,5	»
						41,0	2,4	1,6
						58	—0,7	—0,9
283	IV 20...	8,0	92,0	31,0	42	100,0	—1,5	»
						73,0	6,2	5,9
						58	5,7	5,6
284	IX 20...	4,0 m.	102,0	178,0	50	120,0	3,2	»
						128,0	—7,8	—8,6
						58	—7,0	—7,5
285	IX 27...	4,0 m.	101,0	184,0	58	80,0	—2,5	»
						126,0	—10,2	—10,7
						»	—5,0	»
286	XI 24...	5,0 m.	94,0	242,0	42	90,0	—5,0	»
						200,0	6,0	3,6
						58	2,3	1,3
287	XII 1...	5,2 m.	106,0	261,0	58	150,0	—1,0	»
						203,0	5,8	2,2
						»	1,5	»
288	XII 25...	5,5 m.	92,5	273,5	50	160,0	1,5	»
						223,5	5,0	2,2
						58	4,2	2,0
289	XII 28...	6,0 m.	91,0	276,0	50	190,0	1,2	»
						226,0	3,4	—1,0
						58	3,2	1,6
						»	190,0	2,0

Münster (Heis, 1874).

290	II 5...	7,0	93,0	317,0	50	7,0	3,1	2,7
						58	15,0	2,4
291	II 11...	7,0	89,0	323,0	34	40,0	0,5	»
						357,0	3,1	2,2
						58	21,0	2,3
292	II 12...	7,5	91,0	324,0	42	40,0	2,5	»
						8,0	7,4	7,0
						58	24,0	4,4
293	II 13...	8,0	90,5	325,0	42	50,0	2,0	»
						7,0	8,1	7,2
						58	23,0	4,7
						»	50,0	2,0

Numéros.	Date.	Heure moy.		Élongation.	L.	l.	λ .	β app.	β vrai.
		locale.							
Peckelot (Weber).									
294	I	7...	^h 8,0	⁰ 90,5	287,5	⁰ 58	⁰ 345,5	" 1,3	⁰ 1,0
295	II	5...	6,7	93,0	317,0	"	10,0	—0,5	"
						42	359,0	4,8	4,3
296	II	8...	7,0	95,0	320,0	"	15,0	1,5	3,3
						"	40,0	1,5	"
						34	354,0	2,2	1,2
297	II	9...	7,2	96,0	321,0	38	18,0	1,0	0,7
						"	50,0	1,0	"
						50	11,0	3,1	2,7
298	III	5...	7,7	91,0	345,0	58	19,0	2,3	2,0
						"	50,0	1,5	"
						42	27,0	2,0	—2,7
299	III	6...	7,7	93,0	346,0	58	43,0	—0,2	0,4
						34	20,0	0,5	—0,9
300	III	9...	8,0	89,0	349,0	58	44,0	0,5	0,3
						42	31,0	2,9	2,3
						58	47,0	1,9	1,6
301	IV	4...	9,0	96,0	14,5	"	70,0	1,5	"
						42	56,5	2,2	0,8
302	IV	12...	8,5	108,5	22,5	58	82,5	2,4	1,6
						50	72,5	4,8	4,4
						58	80,5	3,9	3,6
303	IV	17...	9,0	110,5	27,5	"	120,0	1,2	"
						58	85,5	1,7	3,3
304	IX	13...	3,0 m.	85,5	170,0	"	130,0	5,0	"
						50	120,0	—0,5	—1,8
305	IX	15...	3,2 m.	79,0	172,0	58	112,0	—1,0	—1,9
						42	130,0	—0,5	—3,0
306	IX	16...	3,6 m.	79,0	173,0	58	114,0	0,9	—1,7
						42	131,0	—1,3	—2,5
307	IX	17...	3,5 m.	81,0	174,0	58	115,0	—2,0	—2,5
						42	132,0	—0,3	—1,9
308	IX	19...	3,5 m.	81,5	176,0	58	116,0	—1,9	—2,4
						42	134,0	—0,1	—1,8
309	IX	22...	4,0 m.	85,5	179,0	58	118,0	—1,7	—2,4
						42	137,0	2,9	—4,0
310	IX	23...	3,7 m.	85,5	180,0	58	121,0	—3,1	3,5
						42	138,0	—2,8	—4,6
311	XI	6...	4,2 m.	82,5	223,5	58	122,0	—3,3	—3,8
						50	173,5	0,3	—1,2
312	XI	9...	4,7 m.	72,5	226,5	58	165,5	0,2	—1,2
						"	150,0	1,0	"
						42	154,5	3,4	1,7
313	XI	11...	4,7 m.	70,5	228,5	58	168,5	1,3	0,8
						42	186,5	4,2	2,3
314	XI	18...	5,2 m.	58,0	236,0	58	170,5	2,7	2,2
						42	194,0	1,1	—1,0
						58	178,0	1,0?	0,5?

F.

17

Numéros.	Date.	Heure moy. locale.	Élongation.	L.	l.	λ.	β app.	β vrai.
----------	-------	-----------------------	-------------	----	----	----	--------	---------

Peckelot (Weber) (suite).

315	XII 2...	6 ^h ,0	114,5 ^o	250,5 ^o	50 ^o	300,5 ^o	3,5 ^o	1,3 ^o
					58	308,5	3,5	1,9
316	XII 4...	6,0	116,5	252,5	»	350,0	3,7	»
					50	302,5	0,1?	-3,8
					58	310,5	0,5	-0,9
317	XII 7...	5,7 m.	100,0	255,0	42	350,0	2,0	»
					58	213,0	0,0	-3,0
					»	197,0	-1,1	-2,3
318	XII 7...	6,0	114,0	255,0	50	180,0	-2,0	»
					58	305,0	-1,0?	-5,1
					»	313,0	-0,6	-3,3
319	XII 8...	6,0 m.	112,0	256,0	50	350,0	2,0	»
					58	206,0	-5,2?	-7,2?
					»	188,0	-3,6	-4,9
320	XII 10...	5,7 m.	83,0	258,0	50	160,0	-2,0	»
					58	208,0	-5,8	-8,7
						200,0	-4,8	-6,5

Munster (Heis, 1875).

321	I 27...	5,5	102,0	307,5	50	357,5	-2,2	-2,6
					58	5,5	-1,4	-1,7
322	II 5...	7,2	106,0	317,0	»	40,0	0,0	»
					42	359,0	0,0	-1,1
					58	15,0	0,0	-0,3
323	II 23...	8,0	94,0	335,0	»	50,0	0,7	»
					42	17,0	6,9	6,3
					58	33,0	2,9	2,6
324	III 3...	8,0	89,0	343,0	»	60,0	-2,7	»
					34	17,0	7,5	6,0
					58	41,0	2,8	2,5
325	III 4...	8,0	95,0	344,0	»	70,0	0,2	»
					34	18,0	5,4	3,7
					58	42,0	1,1	0,8
326	III 5...	8,0	95,0	345,0	»	70,0	-0,7	»
					34	19,0	5,4	3,9
					58	43,0	3,0	2,7
					»	70,0	2,7	»

Peckelot (Weber).

327	I 24...	7,0?	82,5	304,0	42	346,0	1,0	-0,3
					58	2,0	-0,2	-0,7
328	I 28...	6,7	86,5	308,5	42	350,5	0,0	-0,7
					58	6,5	0,0	-0,4
329	II 5...	6,5?	82,5	316,5	42	358,5	6,2	5,9
					58	14,5	4,1	3,9

Numéros.	Date.	Heure moy. locale.	Élongation.	L.	L.	λ .	β app.	β vrai.
Peckelot (Weber) (suite).								
330	II	7...	^h 7,0?	80,5	318,5	⁰ 42	⁰ 0,5	⁰ 1,0
						58	16,5	0,3
331	II	22...	7,2	71,0	334,0	34	8,0	1,7
						58	32,0	2,3
332	II	25...	7,2	73,0	337,0	34	11,0	3,2
						58	35,0	1,4
333	III	26...	8,0	67,5	5,5	34	39,5	2,2
						58	63,5	1,8
334	III	28...	8,0	65,5	7,5	34	41,5	0,8
						58	65,5	0,8
335	IV	5...	8,5	70,5	15,5	34	49,5	0,6
						58	73,5	0,5
336	IV	23...	8,5	117,0	33,0	42	75,0	5,0
						58	91,0	3,9
						»	130,0	2,5
337	IV	26...	9,0	74,5	36,0	34	70,0	2,0
						58	94,0	0,6
338	V	1...	9,0	116,0	41,0	42	83,0	9,1
						58	99,0	7,5

On voit que ma correction est très sensible et qu'elle change de valeur suivant les saisons. Au mois de mars, au commencement de la nuit, l'écliptique se trouvant incliné sur l'horizon d'un angle assez fort (61° pour Münster), cette correction est de $1^\circ, 0-1^\circ, 5$ pour la partie inférieure de la lumière zodiacale. Mais au mois de décembre ($i = 40$ à peu près), elle peut atteindre et même dépasser 4° , c'est-à-dire 8 diamètres de la Lune! Évidemment, dans les anciennes déterminations de la position de la lumière zodiacale, cette influence produisait une erreur dans son inclinaison vers l'écliptique, erreur qui, comme on voit, doit être très sensible. De plus, nous constatons que cette correction a toujours le même signe.

J'ai porté tous les axes corrigés sur un réseau représentant, dans une échelle suffisante, la zone du ciel le long de l'écliptique. A cause de l'abondance de matière, je les ai divisés en deux parties contenant à peu près le même nombre d'observations. La première partie est de 1847 jusqu'à 1865 et la seconde de 1866 à 1875. La discussion de la position de la lumière zodiacale était faite séparément pour ces deux parties.

On remarque de prime abord que les axes tracés présentent un ensemble extraordinaire qui se répète dans ses détails sur les deux diagrammes. On voit que les observations du soir forment une sorte de cône assez régulier dont le sommet correspond à une longitude d'environ 85° . A partir de là et dans le

sens de la diminution des longitudes, notre ensemble s'élargit de plus en plus et se divise ensuite (au point $\lambda = 32^\circ$) en deux branches semblables et symétriques par rapport à l'axe du cône.

La branche nord s'étend jusqu'à $\lambda = 0^\circ$ à peu près, tandis que celle du sud continue à marcher toujours dans le même sens et se dissipe peu à peu près de $\lambda = 300^\circ$. Au delà, les observations manquent et il est impossible de se faire une idée de la position de la lumière zodiacale.

Cet aspect est commun aux deux graphiques. Seulement, sur le premier, la partie du nord est sensiblement plus riche en observations et tout l'ensemble est un peu écarté vers le nord; sur le second, la symétrie des nombres d'observations correspondant aux branches est plus grande, mais il existe une prédominance pour la branche sud. Tout l'ensemble est encore plus correct et régulier et présente un aspect vraiment frappant.

Il est intéressant de noter que les observations matinales sur la lumière zodiacale présentent le même ensemble, mais cette fois-ci l'ensemble est irrégulier et indistinct, ce qui peut provenir probablement du petit nombre d'observations faites avant le lever du Soleil. Dans ces conditions, la première question qui se pose est la suivante : l'ensemble non corrigé des axes présente-t-il quelque chose de semblable ? Pour répondre à cette question, j'ai tracé tous les axes de la lumière zodiacale observés le soir entre les limites de 0° à 80° de longitude. Ils forment un ensemble très irrégulier qui ressemble aussi bien à un cône qu'à toute autre figure; on voit les petits faisceaux des axes séparés par des lacunes; on peut également distinguer les deux branches signalées, mais très rapprochées l'une de l'autre et presque dissimulées. La correction introduite simplifie et régularise le phénomène et en même temps écarte les branches.

Mais on pourrait me faire une objection. En effet, je détermine la distance zénithale des points de l'axe de la lumière zodiacale à l'aide de l'heure d'observation donnée par Heis. Or, ces moments comportent peut-être une erreur systématique, si, par exemple, l'observateur, qui probablement n'attribuait pas une grande importance aux moments d'observations, avait pris l'habitude de donner toujours le moment du commencement ou de la fin de son travail.

En outre, l'heure donnée par Heis et par Weber est assez inexacte; on voit, en effet, que l'heure est notée à $\frac{1}{4}$ d'heure près; donc, une erreur de 7^m et même de 10^m est possible. Pour faire voir l'effet qu'une inexactitude dans l'estimation de l'heure peut avoir sur ma correction et sur l'aspect général de l'ensemble des axes, j'ai refait tous les calculs en attribuant à Heis l'erreur systématique de 20^m , qu'il est cependant impossible d'admettre.

Toutefois, cette grande erreur ne produisait presque aucun effet sur les parties supérieures de la lumière zodiacale; les différences ne dépassaient pas ordinairement $0^{\circ}, 1-0^{\circ}, 2$. Par contre, sur les parties basses, elle agissait sensiblement; les différences avec le calcul précédent dépassaient parfois $0^{\circ}, 5$. Ayant porté les résultats de ces calculs de nouveau sur le réseau, je me suis assuré que l'aspect de l'ensemble des axes est resté à peu près le même. L'aspect du cône avait quelque peu perdu en netteté, mais les deux branches se dessinaient aussi distinctement qu'avant. Donc, quelle que soit la cause du phénomène, elle ne peut être attribuée aux erreurs systématiques et encore moins aux erreurs accidentelles des observations. Il faut, me semble-t-il, admettre qu'elle dépend de la nature même de la lumière zodiacale. Il serait peut-être intéressant de noter que la division de l'ensemble des axes en deux branches commence quand le Soleil se trouve près de l'équinoxe du printemps, mais il est difficile de saisir quelle peut être la relation avec ce fait.

J'ai cherché ensuite la position de l'axe de tout l'ensemble. Pour cela, la zone le long de l'écliptique fut divisée en deux parties de 30° à 30° , et pour le milieu de chacune j'ai déterminé les coordonnées de la lumière zodiacale prenant en considération des poids relatifs de ces évaluations.

La détermination de ces poids a été, comme à l'ordinaire, quelque peu arbitraire. D'une part, les poids doivent dépendre du nombre d'observations et, d'autre part, ils dépendent de leur concordance. Aux coordonnées déterminées à l'aide d'axes très rapprochés, j'attribuais un poids plus grand qu'à celles déterminées avec des axes plus dispersés dans la partie de la zone considérée.

Pour les deux branches, j'ai effectué des déterminations séparées dont il fallait prendre la moyenne en ayant aussi égard aux poids respectifs.

Mes conclusions sont les suivantes :

λ .	β_1 .	Poids.	β_2 .	Poids.
315.....	7,0	1	1,0	1
345.....	3,2	2	2,0	2
15.....	$\left\{ \begin{array}{l} 0,6 \\ 5,5 \end{array} \right\} 2,5$	$\left\{ \begin{array}{l} 3 \\ 4 \end{array} \right\} 5$	$\left\{ \begin{array}{l} 1,3 \\ 6,2 \end{array} \right\} 3,3$	$\left\{ \begin{array}{l} 4 \\ 3 \end{array} \right\} 5$
45.....	2,8	5	1,9	5
75.....	1,4	5	1,4	4
105.....	1,0	2	-0,8	1
135.....	3,0	2	-2,7	2
165.....	2,4	2	1,2	1
195.....	3,6	1	1,7	2
225.....	4,7	1	0,3	1

où les valeurs de β_1 se rapportent à la première partie des observations de Heis

et de Weber et celles de β_2 à la seconde partie correspondant aux mêmes valeurs de λ .

Pour les autres valeurs de λ , les observations manquent.

Déterminons maintenant le grand ou le petit cercle satisfaisant le mieux possible à ces coordonnées. La méthode que j'ai employée est la suivante :

Considérons un triangle sphérique ayant pour sommets le pôle de l'écliptique, le pôle du cercle représentant la position moyenne de la lumière zodiacale et l'un des points déterminés. En prenant d'abord la lumière zodiacale située le long d'un grand cercle, soient i et $\mathcal{Q}$ les éléments déterminant sa position par rapport à l'écliptique, la déviation δ d'un point (λ, β) de ce grand cercle sera alors donnée par

$$\sin \delta = \sin \beta \cos i + \cos \beta \sin i \sin (\mathcal{Q} - \lambda),$$

et, comme δ , β et i sont petits,

$$\delta = \beta + i \sin (\mathcal{Q} - \lambda).$$

Si la lumière zodiacale est située le long d'un petit cercle, nous n'avons qu'à ajouter encore une quantité s déterminant sa distance du grand cercle correspondant; notre déviation ε sera dans ce cas

$$\varepsilon = \delta - s = \beta - s + i \sin (\mathcal{Q} - \lambda).$$

Il faut déterminer s , i et $\mathcal{Q}$ de façon que

$$\Sigma \varepsilon^2 = \min.$$

De l'examen de nos diagrammes, on peut facilement déduire les valeurs approchées des éléments cherchés. Nous les désignons par s_0 , i_0 et $\mathcal{Q}_0$. Comme il est facile de le voir, tout revient alors à résoudre suivant la méthode des moindres carrés les équations de la forme

$$-ds + \sin (\mathcal{Q}_0 - \lambda) di + i_0 \cos (\mathcal{Q}_0 - \lambda) d\mathcal{Q} = -\beta + s_0 - i_0 \sin (\mathcal{Q}_0 - \lambda),$$

par rapport aux corrections ds , di et $d\mathcal{Q}$ pour toutes les valeurs de λ et de β tirées de notre Table.

Les valeurs approximatives des éléments pour la première partie des observations sont

$$s_0 = 3^\circ, \quad i_0 = 2^\circ \quad \text{et} \quad \mathcal{Q}_0 = 0,$$

et pour la seconde

$$s_0 = 0^\circ, \quad i_0 = 2^\circ \quad \text{et} \quad \mathcal{Q}_0 = 30^\circ.$$

Nos équations sont pour la première partie :

					Poids.
1	$[0_n000] ds + [9,849] di + [0,150] d\Omega = [0_n732]$				1
2	0_n000	9,413	0,286	9_n845	2
3	0_n000	9_n413	0,286	0,000	5
4	0_n000	9_n849	0,150	0,204	5
5	0_n000	9_n985	9,174	0,544	5
6	0_n000	9_n985	9_n174	0,591	2
7	0_n000	9_n849	0_n150	0,146	2
8	0_n000	9_n413	0_n986	0,041	2
9	0_n000	9,413	0_n286	0_n041	1
10	0_n000	9,849	0_n150	0_n491	1

et, pour la seconde,

1	$[0_n000] ds + [9,985] di + [9,714] d\Omega = [9_n954]$				1
2	0_n000	9,849	0,150	9,778	2
3	0_n000	9,413	0,286	0,447	5
4	0_n000	9_n413	0,286	0,380	5
5	0_n000	9_n849	0,150	0,447	4
6	0_n000	9_n985	9,714	0,041	1
7	0_n000	9_n985	9_n714	9_n903	2
8	0_n000	9_n849	0_n150	0,415	1
9	0_n000	9_n413	0_n286	0,342	2
10	0_n000	9,413	0_n286	9_n301	1

les coefficients étant exposés en logarithmes.

En posant

$$\begin{aligned} [0_n350] ds &= x & \text{et} & & [0_n350] ds &= x, \\ [0_n335] di &= y & \text{et} & & [0_n150] di &= y, \\ [0,636] d\Omega &= z & \text{et} & & [0,636] d\Omega &= z, \end{aligned}$$

il vient, pour les équations normales,

$$\begin{aligned} 5,20x + 2,34y + 1,40z &= 14,56, \\ 2,51 & \quad 0,58 & \quad 18,75, \\ 3,33 & \quad 3,27 \end{aligned}$$

et

$$\begin{aligned} 4,80x + 1,36y + 2,59z &= 19,59, \\ 5,10 & \quad -0,08 & \quad 7,36, \\ 3,40 & \quad 13,19; \end{aligned}$$

d'où, pour la première partie,

$$\begin{aligned}\log x &= 9,968, & \log p_x &= 0,433, \\ \log y &= 0,922, & \log p_y &= 0,164, \\ \log z &= 8,893, & \log p_z &= 0,169,\end{aligned}$$

et, pour la seconde,

$$\begin{aligned}\log x &= 0,485, & \log p_x &= 0,384, \\ \log y &= 9,812, & \log p_y &= 0,640, \\ \log z &= 0,195, & \log p_z &= 0,270,\end{aligned}$$

μ (erreur moyenne d'observation unique avec le poids = 1) étant $\pm 1^{\circ},3$ et $\pm 2^{\circ},1$.

Par conséquent,

$$\begin{aligned}ds &= 0,4 \pm 0,35 \text{ (erreur moyenne)} \\ di &= -3,9 \pm 0,50 \quad \text{»} \\ d\oslash &= 0,0 \pm 0,18 \quad \text{»}\end{aligned}$$

et

$$\begin{aligned}ds &= -1,4 \pm 0,60, \\ di &= -0,5 \pm 0,71, \\ d\oslash &= 0,4 \pm 0,36.\end{aligned}$$

Nous voyons que les erreurs moyennes sont de l'ordre des corrections déterminées.

Pour les valeurs les plus probables des éléments de la lumière zodiacale, nous avons ensuite

$$\begin{aligned}s &= 3,4 & \text{et} & \quad s = -1,4, \\ i &= -1,9 & \text{et} & \quad i = 1,5, \\ \oslash &= 0,0 & \text{et} & \quad \oslash = 30,4.\end{aligned}$$

En définitif, les moyennes de toutes les observations sont

$$\begin{aligned}s &= 1^{\circ},0, \\ i &= 0^{\circ},2.\end{aligned}$$

Les résultats montrent clairement que les éléments de la lumière zodiacale ne restent pas les mêmes; que ce phénomène se dispose tantôt suivant un petit cercle très voisin de l'écliptique dans l'hémisphère nord, tantôt le long de celui-ci dans l'hémisphère sud du ciel, mais donnant toutefois une préférence marquée pour le premier. Son inclinaison oscille entre des limites très étroites, mais elle est en moyenne tout à fait négligeable.

Dans la première partie de mon Ouvrage, j'ai donné quelques déterminations de la position de la lumière zodiacale. Ainsi, M. Marchand a trouvé

$$i = 6^{\circ} - 7^{\circ}, \quad \varnothing = 70^{\circ}.$$

Je ne connais pas en détail les observations de M. Marchand, mais son résultat indique que, probablement, il fut obtenu à l'aide des seules observations du soir. Au moins, les observations du soir de Heis non corrigées pour l'influence de l'absorption atmosphérique donnent de semblables inclinaison et longitude du nœud ascendant si l'on suppose implicitement que la lumière zodiacale est située le long d'un grand cercle.

Selon Bayldon, $i = 4^{\circ}$ et $\varnothing = 0^{\circ}$, et, d'après Backhouse, $i = 3^{\circ}$ et $\varnothing = 27^{\circ}$.

Les valeurs de $\varnothing$ sont assez concordantes avec les miennes: seulement, j'ai trouvé pour i une valeur insignifiante, et c'est là où se manifeste l'influence de ma correction.

En résumé, il faut conclure que la lumière zodiacale se dispose tout près de l'écliptique, ou, ce qui revient au même, tout près du plan invariable du système solaire. En effet, le plan invariable possède une inclinaison par rapport à l'écliptique à peu près égale à celle de l'orbite de Jupiter, c'est-à-dire $1^{\circ}, 3$. Ce chiffre est de l'ordre de l'erreur moyenne dans la valeur de i .

La préférence de la lumière zodiacale pour l'hémisphère nord me paraît assez probable, quoique l'insuffisance de la correction pour l'absorption atmosphérique pourrait produire dans une certaine mesure un résultat pareil.

III.

Je vais maintenant examiner les théories proposées pour expliquer la lumière zodiacale et tirer de mes observations photométriques toutes les conclusions sur sa nature et ses propriétés. Dans leurs grandes lignes, les théories de la nature de la lumière zodiacale peuvent être divisées en deux catégories: les théories terrestres et les théories cosmiques. Nous allons d'abord exposer brièvement les premières.

HYPOTHÈSES TERRESTRES SUR LA NATURE DE LA LUMIÈRE ZODIACALE.

La plus laborieuse étude sur la lumière zodiacale a été peut-être faite par Serpieri, qui a examiné attentivement les observations de Jones. Serpieri pense que la lumière zodiacale présente un phénomène terrestre et voici les raisons qu'il avance. Selon lui, le cône de la lumière zodiacale est constitué de parties

diverses, qui sont de nature distincte et qui se déplacent perpétuellement l'une par rapport à l'autre. Il considère, de même, les phases de la lumière zodiacale comme un phénomène réel et incline à les reporter sur le compte d'une énergie interne qui le régirait suivant les lois qui lui sont propres.

En remarquant que Jones a observé pendant ses voyages la lumière zodiacale sous différentes formes, que même les observateurs, à la distance de quelques kilomètres seulement, ont vu parfois les aspects notablement différents de cette lueur, Serpieri a conclu que chaque localité doit posséder sa propre lumière zodiacale. Il pense, d'après les observations de Jones, que le cône du soir n'a pas la même base que celui du matin, que la lumière zodiacale ne s'étend pas jusqu'au Soleil et qu'elle en est indépendante. Enfin, après avoir discuté les observations des pulsations, il arrive à la conclusion que ce phénomène est dû à la lumière zodiacale elle-même et ne peut être expliqué par des influences atmosphériques. Évidemment, à ce point de vue, il est impossible de chercher parmi les causes cosmiques l'explication de la nature de la lumière zodiacale. Mais déjà, dans la première partie de cet Ouvrage, j'avais examiné les conclusions de Serpieri. Nous avons déjà vu que les phénomènes des pulsations, des phases, etc. sont de pures apparences, produites par le crépuscule, par les influences atmosphériques et par bien d'autres causes; nous n'avons donc plus besoin de reprendre nos arguments.

En précisant son système, Serpieri dit que la lumière zodiacale est de la même nature que l'aurore boréale.

Il compare ce phénomène aux quelques aurores qui ont présenté une stabilité remarquable, comme, par exemple, celle du 4-5 février 1872, étudiée par Donati. Elle se maintenait à une même distance du Soleil en passant successivement par les divers méridiens. Selon Serpieri, il existerait une relation étroite entre la lumière zodiacale et les aurores boréales, de sorte que les aurores boréales très fortes seraient toujours précédées par la lumière zodiacale d'intensité plus grande. A l'appui de cette manière de voir, il expose une série de faits dus à Mairan et à Schiaparelli. Pour compléter ses raisonnements, Serpieri cherche à démontrer que la lumière zodiacale peut agir, de même que l'aurore, sur l'aiguille aimantée. Schiaparelli a prouvé que les variations diurnes de l'aiguille aimantée ne peuvent être produites par les radiations magnétiques du Soleil, de même qu'elles ne peuvent être attribuées uniquement aux actions des courants électriques, ni aux effets de l'échauffement de la surface de la Terre par les rayons du Soleil (1). Serpieri veut voir ici l'indication que

(1) *Memorie degli Spettroscopisti italiani*, vol. III, Appendice, p. 3.

ces mouvements diurnes de l'aiguille doivent être attribués aux influences de la lumière zodiacale, de « l'aurore zodiacale », d'après son expression.

Pour mieux voir toute la différence qui existe entre les deux phénomènes en question, je me permets de donner ici quelques détails essentiels sur les aurores polaires.

La première impression qu'on reçoit ordinairement des aurores, c'est leurs mouvements internes, leurs déplacements rapides et la variété de leurs formes.

En observant en septembre 1909, à l'Observatoire de Kharkow, la grande aurore de cette année, je pouvais avec grand'peine en tracer la forme, parce que l'aspect du phénomène changeait complètement en quelques minutes.

Quel frappant contraste avec la majestueuse tranquillité de la lumière zodiacale !

On sait, de plus, que les aurores boréales sont plus fréquentes sous les grandes latitudes et la zone du maximum d'aurores forme des anneaux entourant les pôles terrestres, alors que, pour la lumière zodiacale, les conditions de visibilité dépendent uniquement des circonstances astronomiques.

Aux grandes latitudes, les aurores polaires se forment à une altitude relativement faible; on les observe parfois en dessous des nuages, sur le fond des montagnes, et, selon M. Arrhenius, on peut même parfois les observer sur le fond d'une étoffe noire placée à quelques pas de l'observateur.

Au contraire, la lumière zodiacale n'offre la moindre trace de parallaxe. Les aurores sont très souvent suivies des nuages et surtout des cirrus, tandis que la lumière zodiacale jamais. Elles présentent une période diurne, une période annuelle et, à ce qu'il paraît, une période de 25 jours, encore une fois à l'encontre de ce qui se passe pour la lumière zodiacale. Mais l'objection décisive à la théorie de Serpieri consiste en ce que les deux phénomènes en question possèdent des spectres absolument différents. En effet, la lumière zodiacale présente le spectre réfléchi du Soleil, tandis que l'aurore boréale montre un spectre caractéristique avec plusieurs raies brillantes, dont la plus intense se trouve dans le vert. Donc, nous devons conclure de tout ce qui précède que la nature de la lumière zodiacale est tout à fait différente de celle des aurores.

Je passe maintenant à la théorie assez ingénieuse de Houzeau ⁽¹⁾. Houzeau admet en substance que chaque planète possède une sorte de queue semblable à celle des comètes. La queue de la Terre nous paraîtrait sous la forme de la lumière zodiacale.

(1) HOUZEAU, *En quoi consiste la lumière zodiacale* (C. T., vol. I, 1880, p. 517).

La lumière zodiacale présente une surface lumineuse ; or, l'éclat d'une surface ne varie pas avec l'éloignement de l'observateur. On peut donc se demander pourquoi nous ne voyons pas des lueurs analogues appartenant aux autres planètes. Houzeau a cité quelques observations qui donnent, suivant son opinion, la possibilité de distinguer les queues des planètes dans des circonstances favorables.

Dans certains cas, on observait la Lune et Vénus accompagnées d'appendices lumineux qui se trouvaient dans les plans de leurs orbites et ressemblaient beaucoup aux chevelures de comètes.

Telles sont, par exemple, les raies brillantes de Vénus observées par Beer et Mädler, quand cette planète présentait un mince croissant ⁽¹⁾. Tels sont les appendices lumineux du disque lunaire observés bien des fois par Holder, qui les avait appelés « Lumière zodiacale de la Lune » ⁽²⁾. Mais il faut remarquer que ces phénomènes sont très rares et que personne, excepté les observateurs susdits, n'a pu les distinguer, à ce que je sache, et cela malgré les perfectionnements notables qu'ont subis les instruments optiques depuis l'époque de Beer et Mädler, et malgré les observations assidues de Vénus et de la Lune.

Si quelqu'un voulait défendre l'hypothèse de l'existence de satellites de Vénus, il pourrait citer un grand nombre d'anciennes observations à son profit, et pourtant nous savons actuellement que Vénus en est dépourvue.

Je puis rappeler encore qu'après la découverte, par Galilée, des quatre satellites de Jupiter, dès qu'on a admis que la présence de ces astres ne contredise pas la lettre des Saintes-Écritures, des observateurs persévérants ont découvert une dizaine de nouveaux satellites. Mais on peut citer un exemple de nos temps qui montre combien il est parfois dangereux d'adopter les résultats d'un seul observateur.

M. Bouris ⁽³⁾ raconte qu'il lui est arrivé une fois d'observer, à l'aide d'un cercle méridien, des étoiles qui culminèrent à 4° *au-dessous* de l'horizon, à savoir : ξ Lyre, ϵ' Autel, ϵ^2 Autel, β Autel et Canopus.

Ces observations sont d'autant plus étonnantes que l'instrument était dirigé sur une colline qui s'élevait de 2° au-dessus du niveau de la mer.

En somme, je ne puis croire que les observations directes justifient l'opinion de Houzeau.

Voyons maintenant quelles peuvent être les raisons théoriques en faveur de

⁽¹⁾ BEER et MÄDLER, *Beiträge zur physichen Kenntniss der himmelischen Körper im Sonnensysteme* 1841, p. 139.

⁽²⁾ *American Journal of Science*, vol. XV, 1878, p. 231.

⁽³⁾ *A. N.*, n° 1204, vol. LI, p. 52.

cette hypothèse. Les queues des comètes sont, comme on le sait, toujours situées dans le plan de leurs orbites; dans le cas de la queue terrestre, celle-ci doit bien se trouver dans le plan de l'écliptique et son intensité doit probablement augmenter dans la direction du Soleil. Tout ceci paraît, du moins au premier abord, conforme aux faits connus.

Mais continuons à suivre l'idée de Houzeau et comparons la Terre à une comète située à une distance considérable du Soleil; la chevelure de cette comète envelopperait uniformément le noyau de cet astre. Dans ce cas, nous n'aurions aucune idée de la lumière zodiacale et le ciel nous paraîtrait éclairé à peu près uniformément.

D'autre part, la chevelure des comètes au voisinage du Soleil présente une série d'enveloppes divisées par des intervalles évidés; ces enveloppes formant les surfaces paraboloides concentrent leur matière à peu près dans le plan de l'orbite en passant dans la queue. Dans ce cas, l'observateur se trouvant sur le noyau de la comète devrait voir une lumière zodiacale composée de nappes distinctes. En réalité, on n'observe rien de semblable.

De plus, il est évident que les particules de la chevelure devraient se trouver tout près de la Terre et, par suite, la lumière zodiacale devrait manifester un effet très notable d'une parallaxe, ce qui est encore contraire aux faits connus.

Enfin, on peut se demander de quoi peut être composée la queue de la Terre et comment peut-elle devenir visible par la simple réflexion de la lumière. Les comètes ont toujours des hydrocarbures en incandescence et c'est le spectre de ce gaz qui constitue le spectre caractéristique de ces corps célestes. Selon Hasselberg, dans l'atmosphère des comètes sous l'influence des décharges électriques dues au Soleil, l'hydrocarbure se décompose en hydrogène et en carbone et le dernier, sous forme de particules incandescentes, donne le spectre continu de la comète ⁽¹⁾. Mais personne ne pourrait soutenir que l'intensité de la lumière zodiacale est due à une cause analogue. Houzeau ne donne aucune réponse à toutes ces questions. La seule solution possible est que la queue terrestre est constituée des molécules des couches supérieures de l'atmosphère ou de fine poussière soulevée par les courants atmosphériques et soumise ensuite à la répulsion des rayons du Soleil.

M. Evershed, dans sa théorie sur la nature du Gegenschein ⁽²⁾, théorie analogue à celle de Houzeau, admet que la queue de la Terre est formée par des molécules d'hydrogène. En exposant la dernière théorie terrestre de la lumière

⁽¹⁾ SCHEINER, *Die Spectralanalyse der Gestirne*.

⁽²⁾ J. EVERSLED, *The Cause of the Gegenschein* (*O.*, vol. XXII, p. 57).

zodiacale, je montrerai que la réflexion de la lumière par les molécules des gaz raréfiés est difficilement admissible.

De tout ce qui précède, nous devons donc conclure que la théorie de Houzeau est peu probable.

Wegener et Linke (1) ont émis l'opinion que la lumière zodiacale provient de l'éclairage par le Soleil des hautes régions de notre atmosphère qui, d'après eux, est aplatie dans ses couches supérieures. Ce phénomène serait alors tout simplement l'effet des dernières traces du crépuscule dans les hautes régions de l'atmosphère. Avant de discuter cette théorie, examinons la composition de notre atmosphère. Selon Wegener (2), on peut diviser l'atmosphère en quatre couches distinctes :

La zone de nuages jusqu'à 10^{km} d'altitude de constitution connue. Avec la hauteur, la proportion d'oxygène diminue peu à peu, celle de l'azote au contraire augmente et nous entrons ainsi dans la zone de l'azote de 10^{km} jusqu'à 80^{km} d'altitude. Au delà, l'hydrogène qui se trouve près de la surface terrestre dans des proportions minima prend la première place. Nous sommes dans la zone de l'hydrogène qui s'étend jusqu'à 200^{km} ou à peu près.

Ensuite, au delà de cette limite, Wegener suppose l'existence d'un gaz extrêmement léger qu'il appelle *géocoronium* et qu'il identifie avec le coronium du Soleil.

La pression de l'atmosphère à la hauteur de 60^{km} est de 0^{mm},106; à 80^{km}, elle est de 0^{mm},0192; à 140^{km}, de 0^{mm},009; à 300^{km}, de 0^{mm},0033 et à 500^{km}, de 0^{mm},0016.

Il est très important de remarquer que ces zones atmosphériques ne peuvent être distinctes l'une de l'autre, qu'elles ne peuvent former aucune surface de séparation. En effet, la vitesse des molécules d'un gaz est très inégale; c'est seulement en moyenne que chaque gaz possède une vitesse moléculaire déterminée correspondant à une certaine température. Donc, même si les gaz avaient une tendance à se grouper suivant leurs poids atomiques, deux couches voisines doivent être dans un état de mélange. De plus, nous voyons que le degré de raréfaction des gaz dans les couches supérieures de l'atmosphère est beaucoup plus grand que celui qu'on peut obtenir dans les laboratoires; déjà, dans les tubes de Geissler, les molécules gazeuses parcourent toute la longueur du tube sans se rencontrer. Donc nous devons supposer, et c'est là un point essentiel,

(1) F. SCHMIDT, *Das Zodiacallicht im Monat April* (S., 1913, 2 Februar; A. N., n° 4609).

(2) A. N., 1911, II, n° 2005, p. 337.

que les molécules des gaz dans les couches supérieures de l'atmosphère ne se groupent pas, mais peuvent être considérées isolément.

On peut démontrer que la lumière diffuse du ciel provient principalement de la poussière atmosphérique, mais non des molécules de l'air. Ce n'est pas la lumière rendue diffuse par les parties purement gazeuses de notre atmosphère.

Mais alors, il est évident que la lumière crépusculaire, représentant les traces dernières de la lumière du jour, est aussi due à la poussière atmosphérique et les évaluations de la hauteur de l'atmosphère fondées sur la durée du crépuscule montrent, en réalité, la limite de la propagation de la poussière. On a trouvé pour cette hauteur 70^{km} environ. On sait que la poussière peut facilement atteindre ces altitudes. On a observé de la fine poussière volcanique après l'éruption de Krakatoa flottant à des altitudes encore plus considérables. La hauteur des nuages lumineux est du même ordre (1).

Mais, à ce point de vue, il est tout à fait inadmissible que la lumière zodiacale, dont l'intensité est comparable avec celle du crépuscule, puisse être due à la réflexion de la lumière par des molécules d'hydrogène extrêmement raréfié.

Je vais montrer maintenant que les molécules gazeuses sont incapables de réfléchir la lumière, en rattachant cette question à la théorie du bleu céleste.

Autrefois on a pensé (Hautefeuille et Chapuis) que la coloration bleue du ciel est la couleur propre de l'ozone. Mais le spectre du bleu céleste ne montre aucune trace de bande caractéristique de l'ozone.

Par contre, la diffraction produite par les particules de poussière fournit une explication probable qui d'ailleurs fut confirmée expérimentalement par Tyndall, Abney et Hurion.

Imaginons un cylindre rempli d'air raréfié. Si dans ce cylindre nous faisons passer l'air atmosphérique à travers un réseau incandescent, l'air de l'intérieur prendra une coloration bleue très marquée. La poussière de l'air se réduira, en passant par le réseau, à des particules très petites qui produiront le phénomène de la diffraction de lumière. Il est connu que l'amplitude de la lumière diffusée par une particule est proportionnelle à son volume et se trouve en raison inverse du carré de la longueur d'onde (λ). Donc les dimensions des particules se trouvent en relation avec les longueurs des ondes de la lumière réfléchie en

(1) La hauteur des nuages luisants le 2 juillet 1889, d'après les photographies faites simultanément à Rathenow et Steglitz, était 84^{km},7 (JESSE, *Untersuchungen über sogenannte leuchtende Wolken*, p. 8).

quantité maxima. Le volume V de la particule peut être représenté par

$$\alpha\lambda^3,$$

où α est un coefficient.

Soit N le nombre de particules de l'unité de volume d'air; la fraction de lumière diffractée, c'est-à-dire le coefficient d'illumination, est proportionnelle à l'expression

$$\frac{NV}{\lambda^3} \quad \text{ou} \quad \frac{N\alpha}{\lambda} \quad (1).$$

On voit que la quantité de lumière réfléchie diminue avec α , c'est-à-dire avec les dimensions des particules, toutes choses égales d'ailleurs. Mais pour les molécules des gaz, α est extrêmement petit. En effet, on évalue le diamètre d'une molécule d'argon, gaz très lourd, à $0^{\text{mm}},000000285$ ⁽²⁾, tandis que les longueurs d'onde de la lumière accessible pour l'œil sont comprises entre $0^{\text{mm}},0007$ et $0^{\text{mm}},0004$. Il en résulte que la lumière réfléchie par les molécules doit avoir une longueur d'onde λ beaucoup plus petite que la lumière violette; par conséquent, elle restera invisible. Si, de plus, nous remarquons que, pour les couches supérieures de l'atmosphère, N est aussi extrêmement petit, nous ne pourrions jamais admettre que la lumière zodiacale puisse être due à la réflexion de la lumière par les molécules d'hydrogène ou de géocoronium. En outre, la théorie de Wegener-Linke possède d'autres défauts. En effet, si l'atmosphère présente dans ses couches supérieures la forme aplatie qui donne à la lumière zodiacale sa forme si caractéristique, cette dernière doit offrir des traces évidentes de parallaxe; or, il n'en est rien.

Enfin, il est évident que Wegener n'a considéré que la partie la plus intense de la lumière zodiacale, son cône, visible ordinairement. Mais ce phénomène présente une bande lumineuse autour du ciel tout entier, dont seules les parties les plus intenses donnent l'impression d'un cône.

Si la lumière zodiacale était due à la lumière des couches supérieures de l'atmosphère, la partie de la bande zodiacale opposée au Soleil ne pourrait jamais être visible. Mais nous savons qu'au contraire elle présente une recrudescence de son intensité, le Gegenschein.

Donc la théorie de Wegener est tout à fait incompatible avec les faits connus.

Je viens d'exposer toutes les principales théories qui attribuent à la lumière

(1) MASCART, *Traité d'Optique*, vol. III, p. 384.

(2) Jean PERRIN, *Les preuves de la réalité moléculaire*, p. 5 (*Les idées modernes sur la constitution de la matière*).

zodiacale une origine terrestre. Nous voyons qu'elles sont insuffisantes et n'expliquent point les faits observés. Je passe maintenant aux théories cosmiques de ce phénomène.

HYPOTHÈSES COSMIQUES SUR LA LUMIÈRE ZODIACALE.

Les hypothèses cosmiques admettent que la lumière zodiacale représente une sorte de nébuleuse réfléchissant les rayons du Soleil ou émettant sa propre lumière.

Autrefois, quand on croyait que la lumière zodiacale ne datait que de l'époque de sa découverte par Cassini, l'hypothèse suivante due à un savant italien était fort en faveur.

Le Soleil, en voyageant dans l'espace, aurait rencontré une nébuleuse et pénétré dans son milieu la retenant par la force de son attraction.

Mais passons aux hypothèses plus probables.

Toutes les hypothèses cosmiques peuvent être divisées en deux catégories. Les premières admettent que la matière de la lumière zodiacale est concentrée autour de la Terre, les autres placent le centre de ce phénomène dans le Soleil.

Jones ⁽¹⁾, au cours de ses observations, est arrivé à la conclusion qu'il s'agit d'un grand anneau nébuleux entourant la Terre à la distance de la Lune et se trouvant dans le plan de l'orbite lunaire. Jones ⁽²⁾ pensait que la substance de cet anneau peut en partie émettre sa propre lumière et en partie réfléchir la lumière du Soleil. D'après cet auteur, les parties de la lumière zodiacale qui se trouvent près du Soleil et qui forment « la lumière centrale » seraient dues à la lumière purement réfléchie, tandis que l'arc lumineux émettrait sa propre lumière. Il serait probablement froid, comme le sont les nébuleuses, et ressemblerait par sa couleur à la Voie lactée.

Heis ⁽³⁾ a également émis une opinion semblable (anneau de matière entourant la Terre), mais il ne s'était pas définitivement arrêté sur cette théorie.

Enfin Barnard ⁽⁴⁾ soutient l'hypothèse que la lumière zodiacale présente un anneau autour de la Terre ressemblant beaucoup à l'anneau de Saturne. Il place cet anneau dans le plan de l'écliptique.

(1) *From a letter of Rev. George Jones to the Editor* (*A. J.*, vol. IV, 1855, p. 94).

(2) *A. J.*, vol. V, 1856, p. 28.

(3) R. PROCTOR, *Notes on the Solar corona and the Zodiacallicht* (*M. N.*, vol. XXX, p. 138).

(4) HOUZEAU, *Où est le siège de la lumière zodiacale* (*C. T.*, vol. I, p. 481).

Nous ne pouvons évidemment pas supposer, avec Jones, que la bande nébuleuse entourant la Terre peut émettre sa propre lumière. C'est contraire à toutes les conceptions physiques de la matière et aux observations spectroscopiques de la lumière zodiacale. Admettons donc que l'anneau, qui doit consister en particules isolées, réfléchit la lumière du Soleil. Nous connaissons de plus que ces particules sont relativement grandes par rapport à la poussière atmosphérique, parce que la lumière zodiacale présente un spectre complet comprenant la partie rouge et avec le maximum dans le vert, alors que le spectre de la lumière réfléchie par des particules atmosphériques donne le maximum dans le bleu.

Évidemment les particules qui se trouvent en opposition avec le Soleil doivent être vues de la Terre comme *totales*, tandis que les particules près du Soleil comme *nouvelles*. Supposons que cet anneau se trouve dans le plan de l'écliptique. Sur le fond brillant de la lumière zodiacale, dans la partie du ciel opposée au Soleil, nous devons apercevoir une tache noire due à l'ombre de la Terre qui se projette sur les particules de l'anneau. A partir de là, nous devons voir deux branches lumineuses qui diminueront d'éclat dans la direction du Soleil. Je vais démontrer en appliquant à la lumière zodiacale les lois de la photométrie que, quels que soient la distribution des masses dans l'anneau entourant la Terre et le rayon de cet anneau pourvu qu'il reste moindre que la distance de la Terre du Soleil, l'intensité dans la lumière zodiacale d'après cette théorie devrait se changer dans le sens opposé à celui qui résulte des observations.

Une partie déterminée de l'anneau doit se trouver successivement à de diverses distances angulaires du Soleil; comme la lumière zodiacale présente en général le même aspect, nous devons en conclure que la densité dans notre anneau est fonction de la seule distance r de la Terre.

Prenons un anneau élémentaire infiniment mince. Une partie de cet anneau observée à la distance angulaire du Soleil ω doit émettre une quantité de lumière proportionnelle à l'expression

$$i = \frac{\mu r^2 dr \sigma f(\alpha)}{d^2 r^2} = \frac{\mu dr \sigma f(\alpha)}{d^2};$$

où r est le rayon de l'anneau; μ , $\varphi(\varphi)$ sa densité; d la distance du Soleil de la partie en question; σ son aire examinée par l'observateur et $f(\alpha)$ une fonction dépendant de l'angle de phase α .

Comment varie i avec ω ?

Cherchons d'abord le signe de l'expression

$$\frac{di}{d\alpha} = \mu \sigma dr \left[\frac{d}{d\alpha} \left[\frac{f(\alpha)}{d^2} \right] \right],$$

ou, simplement, celui de l'expression

$$\frac{d}{d\alpha} \left[\frac{f(\alpha)}{d^2} \right].$$

Comme toutes les lois de la photométrie donnent la distribution de l'intensité du même caractère, prenons la loi d'Euler, comme étant la plus simple.

D'après cette loi,

$$f(\alpha) = \cos^2 \frac{\alpha}{2}.$$

Mais il est facile de voir que

$$d = \frac{R \sin \omega}{\sin \alpha},$$

R étant le rayon de l'orbite terrestre. Par suite, il faut trouver le signe de l'expression

$$I = \frac{d}{d\alpha} \left(\frac{\cos^2 \frac{\alpha}{2} \sin^2 \alpha}{\sin^2 \omega} \right).$$

On voit que

$$I = -\cos \frac{\alpha}{2} \sin \frac{\alpha}{2} \left(\frac{\sin \alpha}{\sin \omega} \right)^2 + \cos^2 \frac{\alpha}{2} \frac{d}{d\alpha} \left(\frac{\sin \alpha}{\sin \omega} \right)^2.$$

Supposons d'abord que le Soleil se trouve à l'infini. Alors $\sin \alpha = \sin \omega$. Le second terme de cette expression est égal à zéro et I est négatif pour toutes les valeurs de α comprises entre les limites F et 0. Dans ce cas, l'intensité diminue avec l'augmentation de α ou avec la diminution de ω , contrairement aux faits observés. Mais si le Soleil se trouve à une distance finie, le second terme ne peut être que supérieur à zéro. Déterminons pour quelles valeurs de $\frac{r}{R}$ notre expression est nulle, c'est-à-dire pour quel rayon l'intensité de l'anneau zodiacal augmente ou du moins reste invariable pour une diminution de ω .

Posons

$$\omega + \varepsilon = \pi - \alpha,$$

d'où

$$\sin \varepsilon = k \sin \alpha,$$

k étant le rapport $\frac{r}{R}$.

I peut être exprimé de la façon suivante :

$$I = -\cos \frac{\alpha}{2} \frac{\sin \alpha}{\sin^2 \omega} \left(\sin \frac{\alpha}{2} \sin \alpha - 2 \cos \frac{\alpha}{2} \frac{\cos \alpha \sin \omega - \sin \alpha \cos \omega \frac{d\omega}{d\alpha}}{\sin \omega} \right) = 0,$$

où

$$\frac{d\omega}{d\alpha} = -1 - \frac{k \cos \alpha}{\cos \varepsilon}.$$

La condition déterminant k en fonction de α prend la forme définitive :

$$\sin(\alpha + \varepsilon) \tan \frac{\alpha}{2} = 2k \left[1 - \cos \alpha \frac{\cos(\alpha + \varepsilon)}{\cos \varepsilon} \right],$$

où

$$\sin \varepsilon = k \sin \alpha.$$

Nous obtenons pour les différentes valeurs de α les k suivants :

$$\alpha = \pi, \quad k = 1,00;$$

$$\alpha = \frac{\pi}{2}, \quad k = 0,45;$$

$$\alpha = 0, \quad k = 0,00.$$

Nous voyons que le lieu géométrique des points pour lesquels l'intensité ne varie pas avec ω est une courbe qui, sortant du Soleil, passe pour $\alpha = \frac{\pi}{2}$ à la distance 0,45 R de la Terre et coïncide avec cette dernière au point opposé du Soleil. Donc, pour que la lumière zodiacale, supposée due à un anneau entourant la Terre, puisse diminuer d'éclat dans toutes ses parties quand la distance angulaire du Soleil augmente, il est nécessaire que son rayon dépasse le rayon de l'orbite terrestre; supposant que le rayon de l'anneau en question est égal à peu près à la distance de la Lune, c'est-à-dire que $k = \frac{1}{400}$, nous obtenons que cet anneau est presque entièrement à l'intérieur de la courbe déterminée; donc pour tous ces points, excepté les points en opposition, l'intensité doit varier contrairement aux faits observés.

Le résultat trouvé pour un anneau élémentaire est évidemment encore valable pour un anneau quelconque.

On peut ajouter que la lumière zodiacale due à l'anneau entourant la Terre à l'intérieur de l'orbite de la Lune doit présenter les effets de parallaxe; pourtant cette influence sera assez petite et peut rester inaperçue. Quoi qu'il en soit, nous voyons que cette théorie se trouve en contradiction complète avec les observations photométriques.

Voici maintenant un court exposé des théories cosmiques qui supposent la lumière zodiacale entourant le Soleil.

Laplace ⁽¹⁾ avait pensé que ce phénomène présente les restes de la nébuleuse primitive qui s'est condensée en Soleil. Mais cette nébuleuse n'appartient pas à l'atmosphère solaire. Ses particules se meuvent indépendamment l'une de l'autre avec les vitesses correspondant à leurs distances du Soleil. Il est évident, en effet, que l'atmosphère du Soleil ne peut dépasser 0,9 de rayon de l'orbite de Mercure, parce qu'au delà de cette limite la force centrifuge devient plus grande que la force d'attraction du Soleil.

Le professeur Nichol ⁽²⁾ a exprimé récemment la même opinion.

Liais ⁽³⁾, sans parler de l'origine de la lumière zodiacale, a émis l'opinion qu'elle présente une sorte d'ellipsoïde de révolution autour du Soleil consistant en petites particules cosmiques qui entrent de temps à autre dans notre atmosphère en produisant le phénomène des étoiles filantes.

D'après Liais, qui suivit les anciennes idées de Mayer, ces particules tombant sur la surface du Soleil produisent de la chaleur et entretiennent ainsi le rayonnement solaire. D'autre part, Anderson ⁽⁴⁾ suppose que la lumière zodiacale présente un grand amas de particules entourant le Soleil sous forme d'anneau. Le bord intérieur de cet anneau peut se trouver dans le voisinage du Soleil, le bord extérieur passant un peu au delà de l'orbite terrestre. Cet amas de petites particules qui est assez aplati doit présenter au-dessus de l'horizon de l'observateur une bande lumineuse traversant le ciel. On peut, évidemment, imaginer une position convenable de la Terre dans cet amas pour que l'intensité de la bande corresponde aux faits observés.

Maunder déduit de ses observations faites en Égypte et aux Indes l'hypothèse suivante sur la constitution de la lumière zodiacale. D'après lui, les petites particules réfléchissant la lumière solaire formeraient un disque à l'intérieur de l'orbite terrestre et à l'extérieur un anneau concentrique à l'orbite de la Terre. Le disque, dans l'imagination de M. Maunder, constitue le cône central de la lumière zodiacale, tandis que l'anneau paraît pour l'observateur comme une lumière vague et diffuse enveloppant le cône central et traversant le ciel de part en part. Ces deux apparences ne constitueraient donc pas le même phénomène, mais seraient dues à des causes différentes.

⁽¹⁾ HUMBOLDT, *Cosmos*, p. 592. — ARAGO, *Astronomie populaire*, vol. II, p. 183.

⁽²⁾ F. HERKLESS, *The zodiacal Light* (*J. B. A. A.*, vol. VII, p. 286).

⁽³⁾ LIAIS, *L'espace céleste ou description de l'univers*, p. 181.

⁽⁴⁾ W. ANDERSON, *Notes on the zodiacal Light* (*M. N.*, vol. LXIII, 1898, p. 373).

Enfin Shermann (1) pense également que la lumière zodiacale présente un amas de particules entourant le Soleil. Cet amas est plus étendu dans la partie de l'orbite terrestre qui correspond à la position de la Terre en janvier. Shermann compare cet amas avec la chevelure d'une comète, faisant allusion à la circonstance que le Soleil se meut dans l'espace suivant la direction Soleil-Terre au mois de juillet. Pour expliquer l'origine de la lumière zodiacale, Shermann admet qu'elle ne diffère en rien de la couronne solaire. Il a recours à la théorie de la couronne de Huygens, d'après laquelle cet appendice du Soleil consisterait principalement en particules solides en état d'incandescence. Sous l'influence des mêmes forces qui donnent naissance aux queues des comètes et les obligent à prendre une direction opposée au Soleil, ces particules quittent le Soleil, s'éloignent dans l'espace environnant pour y former l'amas aplati qui se présente à nous sous forme de lumière zodiacale. Cette théorie est presque identique avec la théorie de la couronne solaire due à M. Arrhenius.

Il est à remarquer que la même explication fut proposée encore par Euler en 1748. Cet éminent savant parlait déjà de la pression des rayons lumineux.

Toutes ces théories diffèrent très peu l'une de l'autre. Je ne puis dire laquelle est la plus probable : elles sont trop peu précisées et laissent un champ très vaste aux suppositions accessoires. Elles admettent également que la lumière zodiacale est due aux formations régulières. Dans la théorie de Laplace, les particules de la nébuleuse primitive décrivent des orbites circulaires, de même que dans l'hypothèse de Liai. Maunder et Anderson présupposent nécessairement la stabilité de leurs anneaux et attribuent par conséquent aux particules les orbites circulaires. Donc, si ces théories étaient vraies, la lumière zodiacale devrait toujours présenter le même aspect. Mais en réalité, comme nous venons de le voir, la position moyenne de la lumière zodiacale change, elle aussi, d'une façon appréciable. Les observations de Heis, de 1847 à 1865, ont donné $i = -1^{\circ},9$, et celles de 1866 à 1875, $i = 1^{\circ},5$. Quant aux positions isolées de ce phénomène, elles présentent parfois des écarts énormes par rapport à l'écliptique. Par exemple, le 3 mars 1870, M. Noble (2) a vu la lumière zodiacale inclinée de 20° sur l'écliptique.

Les observations de Heis donnent parfois des écarts semblables. Ces variations de l'inclinaison, ces recrudescences de l'intensité qui se produisent, à ce qu'il

(1) O.-G. SHERMANN, *Unser Wissen über das Zodiacallicht* (H. E., vol. I, 1889, p. 577).

(2) Capt. NOBLE, *The zodiacal Light* (M. N., vol. XXX, p. 151).

semble, en dehors de toute périodicité, ne peuvent être expliquées par les théories signalées qui expliquent cependant l'aspect normal du phénomène.

Le fait que la lumière zodiacale change de position dans certaines limites et présente des variations d'intensité indique d'une façon évidente que des nouvelles quantités de particules cosmiques arrivent dans le voisinage du Soleil.

Ceci prouve que les particules qui forment les parties les plus intenses de la lumière zodiacale ne restent pas les mêmes, mais qu'elles sont remplacées par d'autres qui peuvent venir des régions éloignées de notre système planétaire. A ce point de vue, il est certain que la lumière zodiacale doit varier de façon irrégulière en position et en intensité.

Quant au voisinage du Soleil et de la Terre arrive un grand amas de poussières cosmiques, on peut s'attendre à une recrudescence extraordinaire de la lumière zodiacale. Pareille relation a été remarquée déjà par Olmsted ⁽¹⁾.

Ce dernier a observé que la lumière zodiacale était, en novembre 1833, d'une intensité extraordinaire, tandis qu'en 1834 et en 1835, à la même époque, ce phénomène est resté absolument invisible. Or, en 1833, le courant météorique des Léonides, contenant une énorme quantité de petits météorites, a passé près de la Terre se dirigeant vers le Soleil. Olmsted en conclut avec raison que ce nuage météorique a communiqué à la lumière zodiacale son extraordinaire luminosité.

D'autre part, toutes les théories admettent que la Terre est entièrement plongée dans le milieu de la lumière zodiacale et le spectroscope nous révèle que les particules cosmiques qui produisent ce phénomène ne sont pas très petites. Mais la Terre, dans son mouvement orbital, rencontre ces particules; en entrant dans notre atmosphère et devenant incandescentes à cause de la perte de force vive, elles doivent devenir visibles à l'observateur. Nous avons donc prévu le phénomène des étoiles filantes. Les plus grandes d'entre elles, d'après les évaluations du Professeur Newton, ne dépassent guère quelques grammes.

Quelle est maintenant la limite inférieure de la masse des étoiles filantes? Nous l'ignorons. J. Schmidt a observé accidentellement à Athènes des météorites télescopiques, et il est hors de doute qu'il existe un nombre excessivement grand d'étoiles filantes qui échappent aux observations à cause de leur faiblesse.

Le nombre d'étoiles filantes visibles même à l'œil nu est énorme. Chaque nuit

(1) *American Journal of Science and Arts*, t. XXIX, 1836, p. 376.

sur la surface de la Terre, il en tombe des millions, et cela représente encore une limite inférieure de leur nombre. Comme la Terre ne tient aucune place particulière dans l'espace, nous devons admettre que l'espace planétaire est occupé par une grande quantité de petites particules météoriques. Ces particules, en rencontrant la Terre, n'apportent aucun changement notable dans son mouvement, parce que leurs masses sont tout à fait négligeables devant celle de la Terre. Mais imaginons une comète qui se mouvrait dans l'espace suivant une orbite quelconque au milieu de cette poussière météorique. La masse d'une comète est extrêmement faible et peut être toujours négligée, même en comparaison des masses des satellites. Nous pouvons donc admettre que, par suite de la pénétration des météorites dans le milieu cométaire, la force vive de celle-ci peut être changée sensiblement dans un intervalle de temps assez court.

Mais étant donné que les orbites des particules sont orientées dans l'espace d'une façon quelconque, les chocs perpétuels que subit la comète ont pour effet de diminuer sa vitesse tangentielle, comme si elle se mouvait dans un milieu résistant. Or, il est bien connu que l'effet d'un milieu résistant sur le mouvement d'un corps autour du Soleil consiste à diminuer l'axe et l'excentricité de son orbite.

Je considère donc que les comètes, par suite des rencontres des météorites, de même que les amas des météorites, par suite des chocs mutuels, et, en général, toute la matière qui peut subir une résistance dans le milieu intraplanétaire doit tendre vers le Soleil. Ceci explique pourquoi la masse principale de la lumière zodiacale se trouve dans le voisinage du Soleil. Il me reste à expliquer la situation de la lumière zodiacale près du plan invariable du système solaire.

Je suppose essentiellement que les comètes pénètrent dans notre système planétaire ayant une vitesse parabolique qui, avec la même probabilité, peut être supposée orientée de toutes les façons. En notations usuelles, les éléments d'une orbite parabolique sont q , i , ω , Ω . Il est évident qu'on peut s'attendre également à toutes les valeurs possibles pour i , ω , Ω . Cherchons la probabilité d'une distance périhélie q .

Supposons qu'à l'instant initial aux limites de la sphère d'activité du Soleil, les coordonnées d'une comète sont :

$$x_0 = r_0, \quad y_0 = 0, \quad z_0 = 0,$$

et les composantes de la vitesse V formant l'angle α avec le rayon vecteur

sont :

$$\left(\frac{dx}{dt}\right)_0 = -V_0 \cos \alpha, \quad \left(\frac{dy}{dt}\right)_0 = V_0 \sin \alpha, \quad \left(\frac{dz}{dt}\right)_0 = 0.$$

D'après l'intégrale des aires, nous avons

$$r_0 V_0 \sin \alpha = \sqrt{2f} \sqrt{q},$$

d'où, comme

$$V^2 = \frac{2f}{r_0},$$

il résulte que

$$q = r_0 \sin^2 \alpha.$$

On peut dire, avec la probabilité

$$p_\alpha = \frac{2 d\alpha}{\sqrt{\pi}},$$

que la vitesse en question est comprise entre α et $\alpha + d\alpha$. Pour la probabilité correspondante de q il résulte

$$p_q = \frac{dq}{\pi \sqrt{q(r_0 - q)}},$$

où dq est un accroissement fixe de q .

Envisageons maintenant comment varie la probabilité qu'une comète sera captée par une planète (Jupiter, par exemple) en fonction de l'inclinaison i par rapport au plan de l'orbite de cette dernière. Conformément aux idées générales, imaginons Jupiter entouré d'une sphère d'activité de rayon ρ .

Cette sphère décrit un tore circulaire le long de l'orbite de la planète, la position de Jupiter sur cette orbite peut évidemment être supposée quelconque.

Considérons une orbite parabolique quelconque. Si elle ne touche pas le tore, la probabilité en question est zéro. Si, au contraire, elle le coupe, la probabilité est proportionnelle au temps pendant lequel la comète restera dans le tore, ou tout simplement à la longueur de parabole comprise à l'intérieur.

Prenons pour le plan xy l'orbite cométaire, l'axe Ox étant dirigé vers le nœud ascendant. Le problème peut être résolu au moyen des deux équations

$$(x \sin \omega - y \cos \omega)^2 = 4q(q - x \cos \omega - y \sin \omega)$$

et

$$(\sqrt{x^2 + y^2 \sin^2 i} - 1)^2 + y^2 \sin^2 i = \rho^2.$$

Le rayon de l'orbite de Jupiter est pris égal à l'unité. Comme la résolution

rigoureuse de ces équations est impossible, introduisons les simplifications suivantes :

Vu la petitesse de ρ , nous pouvons considérer la portion de la parabole à l'intérieur du tore comme une ligne droite, dont l'équation serait

$$a(x-1) + by + c = 0,$$

où

$$\begin{aligned} a &= 2 \sin^2 \omega + 4q \cos \omega, & b &= -2 \sin \omega \cos \omega + 4q \sin \omega, \\ c &= \sin^2 \omega + 4q \cos \omega - 4q^2. \end{aligned}$$

D'autre part, pour des valeurs de i suffisamment grandes, on peut admettre que l'intersection du tore avec le plan de l'orbite cométaire est une ellipse dont l'équation est

$$(x-1)^2 + y^2 \sin^2 i = \rho^2.$$

Ces équations donnent immédiatement pour la partie l de la parabole comprise à l'intérieur du tore l'expression suivante :

$$l^2 = \frac{\left\{ 4(4q^2 + \sin^2 \omega)[(2q \sin \omega - \sin \omega \cos \omega)^2 \rho^2 + (\sin^2 \omega + 2q \cos \omega)^2 \rho^2 \sin^2 i - (\sin^2 \omega - 4q^2 + 4q \cos \omega)^2 \sin^2 i] \right\}}{(2q \sin \omega - \sin \omega \cos \omega)^2 + (\sin^2 \omega + 2q \cos \omega)^2 \sin^2 i}$$

qui peut être facilement réduite à celle-ci :

$$l^2 = 4 \frac{\rho^2(1 - A \cos^2 i) - B \sin^2 i}{(1 - A \cos^2 i)^2},$$

où

$$A = \frac{(\sin^2 \omega + 2q \cos \omega)^2}{4q^2 + \sin^2 \omega} \quad \text{et} \quad B = \frac{(\sin^2 \omega - 4q^2 + 4q \cos \omega)^2}{4q^2 + \sin^2 \omega}.$$

Les valeurs de q et de ω qui, d'après l'expression précédente, donnent un l réel, forment une certaine aire définie par la formule

$$2q = 1 + \cos \omega \pm \rho \sqrt{\frac{\sin^2 \omega}{\sin^2 i} + (1 + \cos \omega)^2 + \dots}$$

On voit que cette aire s'élargit de plus en plus à mesure que i diminue.

Pour $i = 0$, nous avons

$$l = \frac{2\rho}{\sqrt{1-q}} \left[1 + \frac{1}{8} \frac{q\rho^2}{(1-q)^2} + \dots \right],$$

où $q \leq 0,9$ dans le cas de Jupiter, et

$$l = \sqrt{\rho^2 + 4\rho} \quad (q = 1, 0).$$

La probabilité cherchée est, évidemment, proportionnelle à l'intégrale

$$\int \int \frac{l}{\sqrt{q}} dq d\omega,$$

prise pour toutes les valeurs de q et de ω appartenant au domaine mentionné, ou à l'intégrale

$$\int \int l dx d\omega,$$

si nous posons $\sqrt{q} = x$.

En adoptant, d'après Tisserand ⁽¹⁾, que $\rho = 0,062$, et en appliquant les procédés connus de l'intégration mécanique, j'ai obtenu pour la probabilité des grandes perturbations les valeurs suivantes :

i .	Probabilité.
0	
90.....	1,00 p_0
60.....	1,20
45.....	1,45
30.....	2,02
15.....	3,98
0.....	62,68

La transformation d'une orbite parabolique en ellipse ou en hyperbole dépend de la position respective de la comète et de Jupiter. Comme celle-ci peut être absolument quelconque, ces chiffres donnent également la probabilité que la comète sera captée et restera dans le système solaire.

Ces résultats se trouvent en accord avec les observations. En effet, tandis que les comètes non périodiques possèdent toutes les inclinaisons possibles, les comètes périodiques, au contraire, se meuvent dans les orbites généralement peu inclinées sur l'écliptique.

De ce qui précède, nous devons forcément conclure que la lumière zodiacale est due à la décomposition des comètes, qu'elle présente, pour ainsi dire, un immense cimetière des comètes.

DISTRIBUTION DE LA DENSITÉ DANS LA LUMIÈRE ZODIACALE.

Je vais maintenant appliquer les résultats de mes observations sur les recherches de la densité dans le plan équatorial de la lumière zodiacale aux

(1) TISSERAND, *Traité de Mécanique céleste*, t. IV, p. 201.

diverses distances du Soleil. Nous supposons que ce plan équatorial coïncide avec l'écliptique. Appliquons donc les lois de la réflexion diffuse au calcul de l'intensité de notre essaim de météorites.

La première loi, due à Euler, est basée sur la supposition qu'un élément de surface éclairée émet la même quantité de lumière dans toutes les directions.

C'est absolument inexact. En réalité, l'intensité d'un élément diminue avec l'augmentation de l'angle de réflexion; mais, accidentellement, cette loi appliquée aux phases des corps célestes correspond aux observations d'une façon suffisante et même mieux que les autres lois de la photométrie. Par suite, on peut la considérer comme une formule empirique valable dans la photométrie astronomique.

La seconde loi, due à Lambert, admet essentiellement que la réflexion diffuse de lumière se produit de la même façon que l'émission de lumière par un corps incandescent, c'est-à-dire proportionnellement au cosinus de l'angle d'émission. Cette loi représente suffisamment les observations sur la réflexion de lumière par les surfaces mates préparées artificiellement, comme l'a montré M. Kononowitch pour le carton blanc et le plâtre; elle présente toutefois des écarts sensibles pour des angles de réflexion considérables. Mais pour des surfaces naturelles, qui réfléchissent directement la lumière dans une plus ou moins grande mesure, cette loi ne suffit pas, ainsi que je l'ai trouvé pour le calcaire et le galène.

Enfin, la troisième loi, celle de Lommel-Seeliger, est la seule qui soit basée sur des considérations théoriques. On suppose que les rayons tombant sur une surface mate pénètrent dans son milieu jusqu'à une certaine profondeur. Un rayon pénètre ainsi dans la substance d'un corps et subit une absorption plus ou moins forte; il est réfléchi ensuite par un élément et sort, après avoir subi encore une fois l'effet de l'absorption du milieu. Cette loi, dans sa forme définitive, suppose que les coefficients d'absorption du milieu sont les mêmes sur les deux parcours du rayon. En réalité, il n'en est pas ainsi.

Le coefficient d'absorption doit varier d'une façon continue à partir de l'entrée du rayon. Après la réflexion, il subit un brusque changement et varie de nouveau d'une façon continue. Mais, malgré son évidence, ces considérations ne peuvent être introduites dans les calculs, car le coefficient d'absorption d'un corps et ses changements dépendent de la nature du corps et ne peuvent être valables dans le cas général.

Toutes ces lois sont faites pour les corps absolument mats. En réalité, chaque corps réfléchit toujours une quantité de lumière directement suivant sa nature, ce que peut complètement modifier le mode de réflexion totale.

Nous voyons que les lois de la photométrie ne sont qu'approximatives, et, par conséquent, il ne faudra pas chercher une complète concordance entre l'intensité observée et l'intensité calculée de la lumière zodiacale.

Supposons que la lumière zodiacale présente toujours le même aspect, ce qui est vrai en général. Il en résulte que la densité dans son milieu est une fonction de la seule distance au Soleil. La quantité de lumière réfléchiée par un corps dépend évidemment de sa forme; mais nous ne savons rien de la forme des particules formant la lumière zodiacale. Pour pouvoir néanmoins calculer son intensité, je suppose que toutes les particules ont une forme sphérique et qu'elles possèdent toutes les mêmes propriétés relatives à la réflexion de la lumière.

Il reste encore une hypothèse à faire. Si un essaim de météorites est éclairé par le Soleil, il peut arriver que l'ombre d'un météorite se projette sur l'autre. En outre, à un observateur situé sur la surface de la Terre, un certain nombre de météorites peut paraître superposé aux autres.

Dans ces conditions, la quantité de lumière émise par l'essaim sera notablement moindre que dans le cas d'absence de superpositions et des ombres portées.

Je puis supposer que dans le cas actuel tous les météorites sont éclairés par le Soleil et que tous envoient de la lumière réfléchiée à la Terre. En effet, la lumière zodiacale est très raréfiée. Les étoiles, même très faibles, peuvent être visibles à travers son milieu. En outre, le Soleil présente pour les particules météoriques un disque de dimensions appréciables; les petites particules possèdent un cône d'ombre assez court et ne peuvent porter ombre sur leurs voisines, qui sont d'ailleurs assez éloignées l'une de l'autre.

Supposons que le rayon visuel passe dans le plan de l'écliptique à la distance angulaire ω du Soleil. Une particule de l'essaim, éclairée par le Soleil, envoie vers l'observateur une quantité de lumière proportionnelle : à une certaine fonction $f(\alpha)$ de l'angle de phase α et à l'inverse des carrés des distances r et d à la Terre et au Soleil; en un mot, à l'expression

$$\frac{f(\alpha)}{r^2 d^2}.$$

D'après notre dernière hypothèse, le volume élémentaire de l'espace envoie une quantité de lumière proportionnelle au nombre de particules qui s'y trouvent. Envisageons un volume élémentaire dont les coordonnées polaires dans le plan de l'écliptique sont r et ω .

Le nombre de particules contenues dans ce volume est égal à

$$\mu(d) r^2 \sigma dr,$$

où $\mu(d)$ est la densité cherchée à la distance d du Soleil et σ est l'angle solide, c'est-à-dire la grandeur apparente du volume en question.

Toute la quantité de lumière que reçoit l'observateur est proportionnelle évidemment à l'intégrale

$$\int_0^\infty \frac{\mu(d) r^2 f(\alpha) \sigma dr}{r^2 d^2},$$

l'intégrale étant prise le long d'un rayon visuel.

Nous devons admettre que

$$\mu(\infty) = 0.$$

Donc, l'intensité cherchée est

$$i = K \sigma \int_0^\infty \frac{\mu(d) f(\alpha) dr}{d^2},$$

où K est un facteur de proportionnalité.

D'après l'hypothèse que toutes les particules sont sphériques, et en appliquant les lois de la photométrie, nous obtenons pour $f(\alpha)$ les expressions suivantes ⁽¹⁾ :

$$f(\alpha) = \cos^2 \frac{\alpha}{2} \quad (\text{Euler}),$$

$$f(\alpha) = \frac{\sin \alpha + (\pi - \alpha) \cos \alpha}{\pi} \quad (\text{Lambert}),$$

$$f(\alpha) = 1 - \sin \frac{\alpha}{2} \tan \frac{\alpha}{2} \log \cot \frac{\alpha}{4} \quad (\text{Lommel-Seeliger});$$

les expressions étant assez compliquées, il y a avantage à prendre α comme nouvelle variable d'intégration.

Nous avons évidemment

$$r = \frac{R \sin(\alpha + \omega)}{\sin \alpha} \quad \text{et} \quad d = \frac{R \sin \omega}{\sin \alpha},$$

où R est la distance de la Terre du Soleil.

Donc

$$dr = - \frac{R \sin \omega}{\sin^2 \alpha} d\alpha$$

⁽¹⁾ MULLER, *Die Photometrie der Gestirne*, p. 64.

et

$$i = K \sigma \int_0^{\pi-\omega} \frac{\mu(d)f(\alpha) d\alpha}{R \sin \omega} = \frac{K \sigma}{R \sin \omega} \int_0^{\pi-\omega} \mu(d)f(\alpha) d\alpha,$$

ou, tout simplement,

$$i = \frac{C}{\sin \omega} \int_0^{\pi-\omega} \mu(d)f(\alpha) d\alpha,$$

en remplaçant $\frac{K \sigma}{R}$ par une nouvelle constante C .

i est connu par les observations photométriques.

Voici donc une équation intégrale de première espèce qui détermine la forme de la fonction inconnue μ . Je crois qu'il est tout à fait superflu de chercher la solution exacte de cette équation vu l'inexactitude des données d'observation et de nos hypothèses.

Il vaut mieux tâcher de trouver une solution approchée.

Supposons, par exemple, que $\mu = \text{const.}$ Avec la première loi de photométrie

$$f(\alpha) = \cos^2 \frac{\alpha}{2},$$

nous avons

$$i = \frac{C}{\sin \omega} \left(\frac{\pi - \omega}{2} + \frac{\sin \omega}{2} \right).$$

Comparons cette formule avec notre Table d'intensité de la lumière zodiacale.

Pour

$$\omega = 34^\circ, \quad i \text{ (calc.)} = c. 275, \quad i \text{ (obs.)} = c. 275;$$

$$\omega = 50^\circ, \quad i \text{ (calc.)} = c. 197, \quad i \text{ (obs.)} = c. 156.$$

L'intensité de la lumière zodiacale calculée dans cette hypothèse varie plus lentement qu'en réalité.

Posons maintenant

$$\mu = \frac{K}{d} = \frac{K \sin \alpha}{R \sin \omega},$$

il vient

$$i = \frac{C}{\sin^2 \omega} \int_0^{\pi-\omega} f(\alpha) \sin \alpha d\alpha.$$

La loi d'Euler nous donne

$$i = \frac{C}{\sin^2 \omega} \int_0^{\pi-\omega} \cos^2 \frac{\alpha}{2} \sin \alpha d\alpha$$

ou

$$(1) \quad \frac{i}{C} = \frac{1}{\sin^2 \omega} \left(1 + \cos \omega + \frac{\sin^2 \omega}{2} \right).$$

La loi de Lambert nous donne à son tour

$$(2) \quad \begin{aligned} i &= \frac{C}{\sin^2 \omega} \int_0^{\pi-\omega} [\sin^2 \alpha + (\pi - \alpha) \cos \alpha \sin \alpha] d\alpha \\ &= \frac{3C}{4 \sin^2 \omega} \left(\pi - \omega + \sin \omega \cos \omega + \frac{2}{3} \omega \sin^2 \omega \right). \end{aligned}$$

Appliquons ensuite la loi de Lommel-Seeliger. Nous avons

$$i = \frac{C}{\sin \omega} \int_0^{\pi-\omega} \left(1 - \sin \frac{\alpha}{2} \tan \frac{\alpha}{2} \log \cot \frac{\alpha}{4} \right) \sin \alpha d\alpha;$$

mais

$$\int_0^{\pi-\omega} \left(1 - \sin \frac{\alpha}{2} \tan \frac{\alpha}{2} \log \cot \frac{\alpha}{4} \right) \sin \alpha d\alpha = -\cos(\pi - \omega) + 1 - 2I,$$

où

$$2I = \int_0^{\pi-\omega} \sin \frac{\alpha}{2} \tan \frac{\alpha}{2} \log \cot \frac{\alpha}{4} \sin \alpha d\alpha$$

ou

$$I = \int_0^{\pi-\omega} \sin^3 \frac{\alpha}{2} \log \cot \frac{\alpha}{4} d\alpha = 3 \int_{\alpha=0}^{\alpha=\pi-\omega} \sin^3 \frac{\alpha}{4} \cos^3 \frac{\alpha}{4} \log \cot \frac{\alpha}{4} d\frac{\alpha}{4}.$$

Posons

$$t = \cos \frac{\alpha}{4} \quad \text{et} \quad s = \sin \frac{\alpha}{4}.$$

Alors :

$$I = 3 \int (I_1 + I_2),$$

où

$$I_1 = - \int (1 - t^2) t^3 \log t dt \quad \text{et} \quad I_2 = - \int (1 - s^2) s^3 \log s ds.$$

On peut s'assurer facilement que

$$\begin{aligned} I = 3 \int (I_1 + I_2) &= 3 \int \left[\left(-\frac{t^4}{4} + \frac{t^6}{6} \right) \log t + \frac{t^4}{16} - \frac{t^6}{36} \right]_1^{\cos \beta} \\ &\quad + 3 \int \left[\left(-\frac{s^4}{4} + \frac{s^6}{6} \right) \log s + \frac{s^4}{16} - \frac{s^6}{36} \right]_0^{\sin \beta}, \end{aligned}$$

en posant

$$\beta = \frac{\pi - \omega}{4};$$

mais

$$1 - \cos^4 \beta = 8 \sin^2 \beta \cos^2 \beta.$$

Donc

$$i = \frac{C}{\sin^2 \omega} \left[8 \sin^2 \beta \cos^2 \beta + 32 \left(\frac{\cos^4 \beta}{2} - \frac{\cos^6 \beta}{3} \right) \log \cos \beta - \frac{\cos^4 \beta}{8} + \frac{\cos^6 \beta}{18} + \frac{5}{72} + \left(\frac{\sin^4 \beta}{2} - \frac{\sin^6 \beta}{2} \right) \log \sin \beta - \frac{\sin^4 \beta}{8} + \frac{\sin^6 \beta}{18} \right],$$

en remarquant que

$$\lim \sin^4 \beta \log \sin \beta = 0, \quad \text{pour} \quad \beta = 0.$$

Nous obtenons définitivement l'expression suivante :

$$(3) \quad i = \frac{C}{\sin^2 \omega} \left[\frac{20}{9} + \frac{16}{9} (\cos^6 \beta + \sin^6 \beta) - 4 \cos^2 2\beta + \left(16 \cos^4 \beta - \frac{32}{3} \cos^6 \beta \right) \log \cos \beta + \left(16 \sin^4 \beta - \frac{32}{3} \sin^6 \beta \right) \log \sin \beta \right],$$

où

$$\beta = \frac{\pi - \omega}{4}.$$

Les expressions (1), (2) et (3) donnent les valeurs suivantes pour i si l'on détermine la constante C de façon que les i calculés pour $\omega = 34^\circ$ soient égaux aux i observés.

$\omega.$	$\mu = \frac{K}{d}.$			i observé.	$\mu = \text{const.}$
	Euler.	Lambert.	Lommel-Seeliger.		Euler.
34°	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5
38.....	22,1	22,2	21,8	23,8	24,9
42.....	19,0	19,1	18,4	20,6	22,7
46.....	16,4	16,5	15,6	17,9	21,0
50.....	14,3	14,6	13,4	15,6	19,7

La dernière colonne de cette Table donne la valeur de i calculée dans la supposition que μ est constante.

Nous voyons que les courbes d'intensité obtenues avec $\mu = \frac{K}{d}$ ne sont pas, dans leurs parties voisines du Soleil, en parfait accord avec la courbe observée.

L'intensité calculée baisse avec l'éloignement du Soleil plus rapidement que i observé, ce qui indique qu'il fallait prendre pour puissance de d une valeur comprise entre 1 et 0.

Mais, comme je l'ai déjà dit dans la seconde partie de cet Ouvrage, la

correction de mes observations provenant de l'absorption atmosphérique était probablement incomplète. S'il en est ainsi, l'intensité i correspondant aux petites valeurs de ω , qui était observée toujours tout près de l'horizon, doit varier plus rapidement, d'accord avec les résultats théoriques. D'autre part, à cause de l'inexactitude des lois de la photométrie et aussi à cause de quelques hypothèses un peu arbitraires que nous étions forcés d'introduire dans notre calcul, il est impossible de s'attendre à une meilleure concordance. Je crois donc pouvoir admettre que la densité dans le plan équatorial de la lumière zodiacale varie en raison inverse de la distance au Soleil.

FORME DE LA LUMIÈRE ZODIACALE DANS L'ESPACE.

Après avoir trouvé la distribution de la densité dans le plan équatorial de la lumière zodiacale, je vais déterminer sa forme dans l'espace, ou, pour parler plus exactement, les surfaces d'égale densité.

La détermination directe de l'équation de cette surface ne me paraît pas possible. En tout cas, elle est extrêmement difficile. Le procédé le plus simple et le plus sûr est de faire des suppositions sur le genre de cette surface et de chercher ensuite ses paramètres à l'aide des observations photométriques qui déterminent son aspect d'une façon définitive.

Mais quel genre de surface devons-nous choisir? Chaque corps liquide ou gazeux dans l'espace tend à prendre la forme d'une sphère ou d'un ellipsoïde de révolution, du moment que la vitesse de rotation autour de son axe n'est pas trop grande. Par exemple, certaines nébuleuses dont la densité doit être extrêmement petite nous offrent cet aspect.

A cause de cela il me semble raisonnable d'adopter la forme de l'ellipsoïde de révolution aplati pour notre surface en question.

Supposons donc que dans la lumière zodiacale les densités soient les mêmes sur des surfaces concentriques ayant pour équation

$$\frac{x^2 + y^2}{a^2} + \frac{z^2}{b^2} = k^2.$$

En donnant à k toutes les valeurs successives, nous aurons toutes les surfaces de cette famille.

Supposons que l'axe des x soit mobile et passe toujours par la Terre, située dans le plan équatorial de la lumière zodiacale.

Alors, en désignant par x, y, z les coordonnées rectangulaires d'un point

de la lumière zodiacale et par r sa distance de la Terre, ensuite par l la différence des longitudes de ce point et du Soleil vu de la Terre, et par β la latitude relativement au plan équatorial de notre ellipsoïde, nous avons :

$$\begin{aligned}x - R &= r \cos l \cos \beta, \\y &= r \sin l \cos \beta, \\z &= r \sin \beta.\end{aligned}$$

Comme je l'ai déjà montré dans le troisième Chapitre, l'intensité apparente i d'une aire σ de la lumière zodiacale est donnée par

$$i = \int_0^\infty \frac{\mu \, dr \, \sigma f(\alpha)}{d^2},$$

et comme

$$d = \frac{R \sin \omega}{\sin \alpha} \quad \text{et} \quad r = \frac{R \sin(\alpha + \omega)}{\sin \alpha},$$

R étant le rayon vecteur de la Terre, il vient

$$i = \frac{\sigma}{R \sin \omega} \int_0^{\pi - \omega} \mu f(\alpha) \, d\alpha.$$

Cette formule est valable quelle que soit la forme de la lumière zodiacale.

Dans le plan équatorial de la lumière zodiacale

$$\mu = \frac{K}{d},$$

c'est-à-dire que μ varie en raison inverse de la distance du Soleil. En supposant que les masses sont également distribuées sur les surfaces des ellipsoïdes de révolution, nous devons admettre que dans l'espace

$$\mu = \frac{k}{Ka},$$

où a est une valeur fixe, tandis que k est un nombre variable.

Donc

$$i = \frac{C}{\sin \omega} \int_0^{\pi - \omega} \frac{f(\alpha) \, d\alpha}{Ka}.$$

Mais nous avons évidemment

$$K^2 = \frac{(R + r \cos l \cos \beta)^2 + r^2 \sin^2 l \cos^2 \beta}{a^2} + \frac{r^2 \sin^2 \beta}{b^2}.$$

Posons

$$\varepsilon = \frac{a}{b} > 1;$$

alors

$$(ka)^2 = R^2 + 2Rr \cos l \cos \beta + r^2 \cos^2 \beta + r^2 \sin^2 \beta \varepsilon^2$$

et

$$i = \frac{C}{\sin \omega} \int_0^{\pi-\omega} \frac{f(\alpha) d\alpha}{\sqrt{R^2 + 2Rr \cos l \cos \beta + r^2 \cos^2 \beta + r^2 \sin^2 \beta \varepsilon^2}}.$$

Posons de plus

$$2 \cos l \cos \beta = s,$$

$$\cos^2 \beta + \sin^2 \beta \varepsilon^2 = t;$$

alors

$$i = \frac{C}{\sin \omega} \int_0^{\pi-\omega} \frac{f(\alpha) d\alpha}{\sqrt{\sin^2 \alpha + s \sin(\alpha + \omega) \sin \alpha + \sin^2(\alpha + \omega) t}},$$

où

$$\cos \omega = \cos l \cos \beta.$$

Si nous posons ensuite

$$a = 1 + s \cos \omega + t \cos^2 \omega,$$

$$b = s \sin \omega + t \sin^2 \omega, \quad \text{--- c'est } 2s \sin \omega + 2t \sin \omega \cos \omega$$

$$c = t \sin^2 \omega.$$

nous avons l'intégrale sous la forme définitive

$$i = \frac{C}{\sin \omega} \int_0^{\pi-\omega} \frac{f(\alpha) d\alpha}{\sqrt{a \sin^2 \alpha + b \sin \alpha \cos \alpha + c \cos^2 \alpha}}.$$

C'est l'équation qui donne la valeur de ε . Les coefficients a , b , c sont inconnus, mais restent constants pendant l'intégration.

Il semble alors qu'il suffit de trouver l'expression analytique de cette intégrale elliptique pour calculer la valeur de ε par approximations successives. Mais le calcul direct est impossible. On peut faire la décomposition en série, mais cette série est trop peu convergente. Donc, la représentation de cette intégrale par une expression analytique ne paraît guère possible. Pour trouver la valeur de l'inconnue ε , j'ai calculé cette intégrale numériquement en me servant des formules connues de l'intégration mécanique :

$$\int_a^{a + \left(i + \frac{1}{2}\right)\omega} f(t) dt = \omega \left\{ f \left[a + \left(i + \frac{1}{2}\right)\omega \right] + \frac{1}{24} f' \left[a + \left(i + \frac{1}{2}\right)\omega \right] - \frac{17}{5760} f''' \left[a + \left(i + \frac{1}{2}\right)\omega \right] + \dots \right\}$$

et

$$f\left(a - \frac{1}{2}w\right) = -\frac{1}{2}f(a) + \frac{1}{12}f'(a) - \frac{11}{720}f''(a) + \dots,$$

avec les notations usuelles.

Pour la fonction $f(\alpha)$, il fallait prendre toutes les expressions données plus haut (Euler, Lambert et Lommel-Seeliger); mais comme le calcul effectué ne pouvait prétendre à l'exactitude, comme d'autre part je me propose de trouver seulement la forme approximative de la lumière zodiacale, j'ai pris l'expression la plus simple

$$f(\alpha) = \cos^2 \frac{\alpha}{2} \quad (\text{Euler}).$$

D'ailleurs, comme nous l'avons vu plus haut, la loi d'Euler donne les résultats compris entre ceux des deux autres lois.

On peut éliminer la constante C en calculant l'intégrale pour un point dans le plan équatorial de la lumière zodiacale pour lequel

$$\beta = 0 \quad \text{et} \quad l = 1.$$

J'ai pris tout d'abord

$$l = 39^\circ, \quad \beta = 0, \quad i_0 = 23,0.$$

Il en résulte

$$C = \frac{i_0}{[0,029]}.$$

Pour la détermination de ε , il faut choisir β suffisamment grand. J'ai pris, en second lieu,

$$l = 34^\circ, \quad \beta = 14^\circ, \quad i = 14,4.$$

Le rapport *observé* de $\frac{i}{i_0}$ est égal à 0,62.

Le rapport *calculé* est le suivant :

Pour

$$\varepsilon = 9, \quad \frac{i}{i_0} = 0,708;$$

$$\varepsilon = 11, \quad \frac{i}{i_0} = 0,670;$$

$$\varepsilon = 14, \quad \frac{i}{i_0} = 0,534;$$

d'où

$$\varepsilon = 12,5 \text{ à peu près.}$$

Pour voir si la lumière zodiacale possède vraiment la figure d'un ellipsoïde

de révolution avec le rapport des axes $\frac{a}{b} = 12,5$, il faut calculer ses intensités apparentes pour les autres points et les comparer avec ma Table d'intensité. J'ai effectué ce calcul pour quelques autres valeurs de l et de β . On peut présenter les chiffres de ma Table dans l'hypothèse de l'ellipsoïde de révolution, mais d'une façon quelque peu grossière.

Par exemple, pour $l = 50^\circ$, $\beta = 6^\circ$, nous avons :

$$\frac{i}{i_0} = 0,68 \text{ (calculé); } \quad 0,59 \text{ (observé).}$$

Pour obtenir la représentation de l'intensité aux points de plus en plus éloignés du Soleil, il faut prendre pour ε des valeurs de plus en plus grandes. Il en résulte que la lumière zodiacale présente plutôt une figure de révolution qui est un peu plus allongée dans ses parties équatoriales que l'ellipsoïde de révolution. Il me semble encore prématuré de chercher l'aspect véritable de la lumière zodiacale, étant donné que mes observations sont trop peu nombreuses et n'embrassent pas un intervalle de temps suffisamment grand. Mais, dans une première approximation, nous pouvons admettre que ce phénomène forme dans l'espace un ellipsoïde de révolution dont l'aplatissement est égal à 0,9 environ.

MASSE DE LA LUMIÈRE ZODIACALE.

Au point de vue de ma théorie, il est possible d'évaluer le nombre de particules qui constituent la lumière zodiacale, de même que sa masse, ou au moins la limite inférieure de celle-ci.

En effet, nous supposons que la lumière zodiacale est composée d'amas de météorites; que, par conséquent, ces particules rencontrant la Terre produisent le phénomène des étoiles filantes. Mais le nombre d'étoiles filantes tombant sur la surface de la Terre dans l'unité de temps est connu par les observations; leur masse peut être évaluée aussi, quoique assez grossièrement. D'où il résulte que la densité réelle de la lumière zodiacale à la distance moyenne de la Terre au Soleil peut être calculée. Comme, d'autre part, la distribution de la densité dans la lumière zodiacale, de même que sa forme dans l'espace sont connues, on peut déduire sa masse totale entre certaines limites.

Résolvons d'abord le problème suivant :

Un essaim de météorites, dans lequel toutes les composantes décrivent des lignes parallèles, rencontre la Terre et un nombre N d'entre eux tombe

sur la surface terrestre. Trouver le nombre de météorites compris dans l'unité de volume de cet essaim.

Supposons qu'on puisse considérer le chemin parcouru par la Terre dans l'unité de temps comme une ligne droite, de même que les chemins des météorites.

Imaginons un système d'axes de coordonnées dont l'origine se trouve au centre de la Terre. Considérons une particule de notre essaim météorique. Nous pouvons toujours supposer que cette particule se trouve dans le plan xy et que la direction de sa vitesse initiale v_0 est parallèle à l'axe de x . Au moment initial t_0 , les coordonnées de cette particule sont

$$x_0, \quad y_0,$$

et les composantes de la vitesse relative par rapport à la Terre

$$x'_0 = v_0, \quad y'_0 = 0.$$

(Je prends pour moment initial celui où l'influence attractive de la Terre sur le météorite est négligeable.)

Notre particule est soumise à la seule force d'attraction terrestre .

$$F = -\frac{m}{r^2},$$

m étant la masse de la Terre.

Je laisse de côté les facteurs constants qui doivent disparaître au cours du calcul.

Nous avons, évidemment, l'intégrale des forces vives et l'intégrale des aires qui, en coordonnées polaires r et ϑ , liées aux coordonnées rectangulaires par les relations

$$x = r \cos \vartheta, \quad y = r \sin \vartheta,$$

ont pour expression

$$\frac{r'^2 + r^2 \vartheta'^2}{2} = \frac{m}{r} + h \quad \text{et} \quad r^2 \vartheta' = C.$$

En éliminant le temps entre les deux intégrales nous obtenons la relation suivante :

$$d\vartheta = \frac{C dr}{\pm r^2 \sqrt{2h + \frac{2m}{r} - \frac{C^2}{r^2}}},$$

ou, en posant $\frac{1}{r} = s$,

$$d\vartheta = \frac{C ds}{\pm \sqrt{2h + 2ms - C^2 s^2}},$$

et, en intégrant,

$$\varpi - \alpha = \arccos \frac{-C^2 s + m}{\pm \sqrt{m^2 + 2hC^2}}.$$

Comme α est une constante arbitraire, nous pouvons prendre le signe + devant le radical. Il vient, en définitif,

$$r = \frac{C^2}{m + \sqrt{m^2 + 2hC^2} \cos(\varpi - \alpha)},$$

équation de la section conique décrite par la particule.

Pour $\varpi = \alpha$, la distance r de la Terre est minimum. Choisissons une particule pour laquelle $r_{\min.} = R$, R étant le rayon de la Terre. Alors toutes les particules qui se trouvent à l'intérieur de l'orbite définie de cette façon doivent tomber sur la Terre. Toutes les autres à l'extérieur ne tomberont pas et ne seront pas observées.

Prenons donc

$$R = \frac{C^2}{m + \sqrt{m^2 + 2hC^2}}.$$

Mais C est la constante de l'intégrale des aires. Elle est égale à $\gamma_0 v_0$. D'autre part,

$$h = \frac{v_0^2}{2} + \frac{m}{r_0},$$

ou, en négligeant le second terme $\frac{m}{r_0}$ dans lequel le dénominateur est grand, nous avons tout simplement

$$h = \frac{v_0^2}{2}.$$

Dans ces conditions,

$$R = \frac{\gamma_0^2 v_0^2}{m + \sqrt{m^2 + v_0^4 \gamma_0^2}};$$

d'où

$$v_0^4 \gamma_0^2 + \frac{2m \gamma_0^2 v_0^2}{R} - \frac{\gamma_0^4 v_0^4}{R^2} = 0,$$

et, comme $\gamma_0 \neq 0$,

$$\gamma_0^2 = R^2 \left(1 + \frac{2m}{v_0^2 R} \right).$$

Par conséquent, si nous imaginons un cylindre dont le rayon de base est γ_0 , toutes les particules à l'intérieur de ce cylindre peuvent devenir visibles en pénétrant dans l'atmosphère de la Terre.

Soient : N le nombre de météorites observés dans l'unité de temps;

n le nombre de météorites dans l'unité d'espace. Alors, on a évidemment

$$N = n v_0 \pi y_0^2 = n \pi v_0 R^2 \left(1 + \frac{2m}{R v_0^2} \right).$$

Dans cette expression, il entre une valeur inconnue, à savoir v_0 , vitesse relative de l'essaim par rapport à la Terre.

Si nous nous servons des données moyennes obtenues au cours de longues années d'observation, il faut prendre pour v_0 la vitesse moyenne de tous les courants météoriques. Mais nous savons que les radiants des étoiles filantes sont distribués sur toute la voûte céleste, que les essaims en question rencontrent la Terre dans toutes les directions possibles. Il semble donc que le plus probable serait d'adopter pour v_0 la vitesse moyenne de la Terre autour du Soleil.

D'après la troisième loi de Képler,

$$\omega^2 a^3 = M,$$

M étant la masse du Soleil, ω et a respectivement la vitesse moyenne angulaire et la distance moyenne de la Terre au Soleil.

Donc

$$v_0^2 = \frac{M}{a},$$

et notre expression pour y_0 devient

$$y_0^2 = R^2 \left(1 + 2 \frac{m}{M} \frac{a}{R} \right);$$

mais

$$\frac{m}{M} = \frac{1}{325000} \quad \text{et} \quad \frac{a}{R} = \frac{148000000}{6400};$$

d'où

$$y_0^2 = R^2 \cdot 1,142.$$

Nous voyons que le terme de correction $\frac{2m}{v_0^2 R}$ est bien petit. Comme, d'après la nature même de la question, nous ne cherchons que l'ordre de grandeur de la masse de la lumière zodiacale, on peut négliger cette correction et prendre tout simplement

$$y_0 = R.$$

Le volume d'un ellipsoïde de révolution dont les demi-axes sont $a_0 k$, $b_0 k$ est le suivant :

$$V = \frac{4}{3} \pi a_0^2 b_0 k^3,$$

où a_0 , b_0 sont des valeurs fixes.

F.

Donc l'élément du volume est

$$dV = 4\pi a_0^2 b_0 k^2 dk,$$

et le nombre des particules se trouvant dans cet élément de volume est

$$4\pi a_0^2 b_0 n k_0 k dk,$$

où n est leur nombre dans l'unité d'espace à une distance moyenne de la Terre au Soleil correspondant au facteur k_0 . Donc le nombre total de particules de la lumière zodiacale est

$$2\pi a_0^2 b_0 n k_0 k^2,$$

et d'une façon analogue la masse totale est la suivante :

$$2\pi a_0^2 b_0 m k_0 k^2,$$

m étant la quantité de matière dans l'unité de volume à la distance Terre-Soleil.

Ces expressions donnent le nombre de particules, et la masse dans la lumière zodiacale entre le Soleil ($k = 0$) et une certaine distance, correspondant à une valeur donnée k .

Le nombre moyen de météorites tombant sur la surface de la Terre est connu très imparfaitement. Le professeur Newton ⁽¹⁾ considère que sur toute la surface terrestre il en tombe journellement 10 000 000-15 000 000. Mais ce n'est que le nombre de météorites qui peuvent être observés à l'œil nu.

En réalité, leur nombre est beaucoup plus considérable. Avec un chercheur de comètes, on peut très souvent voir des étoiles filantes traversant le champ. En admettant donc 15 000 000 d'étoiles filantes par jour, je trouverai encore l'ordre inférieur de leur nombre dans la lumière zodiacale.

D'autre part, Newcomb ⁽²⁾ et Harkness ont fait des évaluations de la masse des étoiles filantes. Cette détermination, quelque peu arbitraire, est basée sur la quantité de lumière dégagée par les météorites pénétrant dans l'atmosphère, et donne pour leurs masses 1 grain = $\frac{4}{15}$ gramme en moyenne. Avec ce nombre on peut trouver qu'en un an il tombe sur la surface de la Terre 36 500 tonnes de poussière cosmique. Ce nombre est en accord satisfaisant avec celui qui a été trouvé par Arrhenius ⁽³⁾ (20 000 tonnes).

⁽¹⁾ C. A. YOUNG, *A text book of general Astronomy*, p. 437.

⁽²⁾ C. A. YOUNG, *Ibid.*, p. 439.

⁽³⁾ POINCARÉ, *Leçons sur les hypothèses cosmogoniques*, p. 245.

J'adopte la première valeur.

En appliquant nos formules nous obtenons facilement que le nombre de particules entrant dans la constitution de la partie de la lumière zodiacale comprise entre le Soleil et l'orbite terrestre est égal à

$$100\,000\,000\,000\,000\,000,$$

et leur masse de

$$7 \cdot 10^{12} \text{ kilogrammes.}$$

Comme la masse de la Terre est d'environ

$$2 \cdot 10^{23} \text{ kilogrammes,}$$

nous voyons que la lumière zodiacale entre le Soleil et l'orbite terrestre pèse

$$3 \cdot 10^{10} \text{ fois moins que la Terre.}$$

Il est vrai que ce n'est qu'une limite inférieure de la masse de la lumière zodiacale. La véritable masse de ce phénomène doit être plus grande; mais, vu la petitesse de ce nombre, nous pouvons conclure que la masse de la lumière zodiacale est tout à fait négligeable devant celle des planètes et que le phénomène en question ne peut produire aucune perturbation dans les mouvements des planètes inférieures et particulièrement dans le mouvement de Mercure, contrairement aux idées de Seeliger et des autres savants.

HYPOTHÈSES SUR LA NATURE DU « GEGENSCHN ».

Je vais maintenant exposer les hypothèses sur la nature du « Gegenschein ». Ce phénomène reste encore très mystérieux. Les seules observations de Barnard qui nous révèlent quelques détails sur les variations de son aspect ne sont pas encore confirmées par les autres observateurs et ne peuvent, par suite, être considérées comme décisives. La position du Gegenschein est connue très imparfaitement, parce qu'en l'absence de recherches photométriques préalables on ne peut se faire une idée de l'influence de l'absorption atmosphérique qui doit être assez grande. Nous pouvons admettre comme des faits certains que le Gegenschein est une lueur extrêmement faible, de forme ronde ou elliptique; qu'il se trouve à l'opposition avec le Soleil en connexion réelle ou apparente avec la bande de la lumière zodiacale. En ajoutant qu'il ne montre aucune parallaxe sensible, nous épuisons tout ce qu'on peut dire de certain de ce phénomène.

La diversité des opinions sur sa nature est considérable.

J. Evershed ⁽¹⁾ exprime une hypothèse tout à fait semblable à celle de Houzeau. Il pense que les planètes peuvent avoir des queues gazeuses ressemblant aux queues cométaires. La queue de la Terre, vue dans la direction de sa longueur, doit nous paraître sous l'aspect du Gegenschein.

Evershed développe sa théorie de la façon suivante. Il est connu que les molécules gazeuses désertent peu à peu des atmosphères des planètes.

Les gaz, d'un poids moléculaire très petit, ont une tendance à se dissiper dans l'espace, parce que la vitesse de leurs molécules est souvent suffisamment grande pour surmonter la force d'attraction.

Il s'ensuit que les petits corps de notre système planétaire, tels que les petites planètes, les comètes et même la Lune, n'ont aucune atmosphère constante. La Terre possède une force d'attraction assez grande pour retenir près de sa surface presque tous les gaz. Mais les plus légers d'entre eux, comme l'hydrogène et l'hélium, peuvent tout de même se volatiliser dans l'espace. A cause de cela on ne rencontre ces gaz dans les couches inférieures de notre atmosphère qu'en proportions minimales. D'autre part, il est très probable, comme le remarque le Dr Stoney, que ces éléments se renouvellent constamment dans l'atmosphère grâce aux sources terrestres; le procédé de la disparition des gaz légers continuerait donc perpétuellement.

Mais qu'advient-il des molécules qui ont quitté la Terre? Se propagent-elles dans toutes les directions? Evershed pense que, par analogie avec les comètes dont les queues gazeuses se trouvent sous l'influence de la force répulsive du Soleil, les molécules de notre atmosphère doivent former une queue se dissipant à l'une de ses extrémités et se renouvelant à l'autre.

Cette queue doit être dirigée dans le sens opposé au Soleil. Comme les molécules n'ont pas la même vitesse, cette queue doit avoir une structure assez compliquée, comme celle des queues des comètes examinées par Bredichine.

D'après Evershed, cette queue, en émettant la lumière réfléchie du Soleil, devrait offrir toutes les apparences du Gegenschein.

Il est assez difficile de donner une critique de cette théorie à cause du manque d'observations précises. On lui a déjà opposé (et c'est l'objection qui se présente la première à l'esprit) l'absence de toute parallaxe sensible. Mais, continuant à s'appuyer sur l'analogie avec les comètes, Evershed ⁽²⁾ prétend que la queue

(1) J. EVERSLED, *The Cause of the Gegenschein* (O., vol. XXII, p. 57).

(2) J. EVERSLED, *The Parallax of the Gegenschein* (O., vol. XXII, p. 272).

terrestre doit avoir une longueur de plusieurs millions de kilomètres; que les gaz faisant partie de la queue sont extrêmement raréfiés. Pour cette dernière raison, nous pouvons distinguer les parties de la queue les plus éloignées. Il est évident que dans ces conditions la parallaxe du Gegenschein doit être tout à fait insensible.

Monck ⁽¹⁾ pense que la jonction de la lumière zodiacale avec le Gegenschein est une pierre d'achoppement pour la théorie d'Evershed. Mais rien ne prouve que cette jonction dépend réellement de la nature même des phénomènes en question. On peut admettre aussi bien que cette liaison est purement optique.

Une objection plus sérieuse à la théorie d'Evershed est que la queue consistant en gaz raréfiés ne peut réfléchir la lumière du Soleil, ainsi que je l'ai déjà montré à propos de la théorie de Wegener. Les queues des comètes ne réfléchissent-elles non plus la lumière solaire. Au moins ne montrent-elles aucune trace de polarisation. Mais on peut supposer que la queue de la Terre émet de la lumière par suite des décharges électriques dans le milieu gazeux.

Pour Anderson ⁽²⁾, le Gegenschein est dû à la poussière météorique qui forme une couche mince entourant constamment la Terre. L'ombre de la Terre agissant par contraste accentue davantage le phénomène. Pour expliquer les variations d'aspect du Gegenschein, Anderson introduit l'hypothèse des anneaux de poussière cosmique entourant le Soleil, anneaux qui ne seraient pas concentriques avec l'orbite de la Terre. Cette dernière, dans son mouvement orbital, entre dans les couches de densité variable; il en résulte un allongement de leur pour des époques déterminées de l'année.

Je n'insisterai plus sur cette théorie qui me semble trop riche en artifices. Du reste, les changements d'aspect du Gegenschein n'ont pas été confirmés.

Barnard ⁽³⁾ dit qu'un corps nébuleux tournant autour de la Terre dans un temps égal à celui de la révolution de la Terre autour du Soleil pourrait très bien représenter les phénomènes observés. Mais il est évident que cette explication est trop peu probable.

Liais ⁽⁴⁾ a émis l'opinion que la contre-lueur est un phénomène de la même nature que la lumière zodiacale. Il croyait que la lumière zodiacale ne forme pas un ellipsoïde de révolution rigoureux. Suivant son opinion, elle est plutôt allongée dans la direction allant à la position occupée par la Terre vers les mois

⁽¹⁾ MONCK, *O.*, vol. XXII.

⁽²⁾ ANDERSON, *A possible cause of the Gegenschein* (*O.*, 1899, p. 360).

⁽³⁾ BARNARD, *Observations of the zodiacal Counter glow* (*A. J.*, n° 168, p. 186).

⁽⁴⁾ LIAIS, *L'espace céleste*, p. 181.

de juillet et d'août, parce que, d'après ses observations, la contre-lueur atteignait pendant ces mois la plus grande intensité.

Searle ⁽¹⁾ est, en somme, du même avis. Nous devons constater le maximum d'intensité quand les particules cosmiques se trouvent en opposition avec le Soleil. En supposant, d'autre part, que la Terre est toujours plongée dans un essaim de particules météoriques entourant le Soleil, se propageant au delà de l'orbite terrestre beaucoup plus loin que dans les sens latéraux, nous devons obtenir une recrudescence de lumière dans le côté du ciel opposé au Soleil.

Plus tard, A. Searle s'est placé à un autre point de vue ⁽²⁾.

Il croit que le phénomène en question peut dépendre des perturbations exercées par la Terre sur les météorites qui passent dans notre voisinage.

Cette hypothèse a été développée par Moulton ⁽³⁾ et par H. Hylden ⁽⁴⁾.

Le principe en est le suivant :

Supposons qu'un météore, en restant dans le plan de l'écliptique, se tourne autour du Soleil, suivant une orbite circulaire dont le rayon est de 900 000 milles plus grand que celui de l'orbite de la Terre. La vitesse linéaire et la vitesse angulaire de ce corpuscule est moindre que celle de la Terre. Quand le météorite sera en opposition, c'est-à-dire sur la droite joignant la Terre avec le Soleil, sa vitesse angulaire deviendra égale à celle de la Terre par les perturbations de celle-ci. Le météorite restera donc dans une position invariable par rapport à la Terre dans la direction opposée au Soleil.

Un essaim de pareils météorites, réfléchissant la lumière solaire, peut offrir l'aspect de la contre-lueur. En réalité, il faut placer notre essaim en opposition avec le centre de gravité du système Terre-Lune. Par conséquent, le Gegenschein doit montrer des petites oscillations avec un intervalle d'un mois.

Le point faible de cette théorie est la difficulté d'évaluer le nombre de météorites nécessaire pour fournir de la lumière réfléchie en quantité suffisante.

Je ne crois pas devoir entrer dans les détails de cette théorie, car il me semble prématuré de chercher les explications du phénomène en question. Il faut recueillir de nombreuses observations sur sa position, sur les changements de son aspect, sur la distribution de son éclat. La photométrie photographique pourra peut-être un jour rendre de précieux services. Pour le moment, je ne puis terminer que par un grand point d'interrogation.

(1) A. SEARLE, *The meteoric Theory of the Gegenschein* (O., 1899, p. 310).

(2) A. SEARLE, *On certain zodiacal phenomenon* (A. N., n° 2441, p. 263).

(3) F. R. MOULTON, *A meteoric Theory of the Gegenschein* (A. J., n° 483).

(4) H. HYLDEN, *Sur un cas particulier du problème des trois corps* (B. A., vol. I, 1884, p. 361).

SECONDE THÈSE.

PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Théorie des satellites de Jupiter anciennement connus.

Vu et approuvé :

Paris, le 19 décembre 1913,

LE DOYEN DE LA FACULTÉ DES SCIENCES,

PAUL APPELL.

Vu et permis d'imprimer :

Paris, le 19 décembre 1913,

LE VICE-RECTEUR DE L'ACADÉMIE DE PARIS,

L. LIARD.

